



## 저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

도시계획학박사학위논문

자연재해 피해의 결정요인 및  
경제적 파급효과

**The Determining Factors and the Economic Impact  
of Natural Disaster Damage**

2015년 8월

서울대학교 환경대학원

환경계획학과

이 미 연

# 자연재해 피해의 결정요인 및 경제적 파급효과

**The Determining Factors and the Economic Impact  
of Natural Disaster Damage**

지도교수 홍 종 호

이 논문을 도시계획학박사학위논문으로 제출함

2015년 4월

서울대학교 환경대학원  
환경계획학과  
이 미 연

이미연의 박사학위논문을 인준함

2015년 7월

위 원 장	<u>김 광 열</u>	(인)
부 위 원 장	<u>김 의 준</u>	(인)
위 원	<u>김 용 건</u>	(인)
위 원	<u>이 영 성</u>	(인)
위 원	<u>홍 종 호</u>	(인)

## 국문 초록

자연재해가 세계 곳곳에서 다양한 형태로 발생하고 있으며, 이러한 현상에 영향을 미치는 주요 요인 중의 하나가 기후변화이다. 특히, 극단적인 강도와 빈도를 가진 재해의 발생 확률이 커지는 Fat-tail risk로 인해 앞으로 발생할 재해의 규모와 빈도를 예측하는 것이 점점 더 어려워지고 있다. 이와 같이 기후변화로 인해 불확실성이 커지고 있지만, 우리가 통제하고 관리할 수 있는 부분이 반드시 존재하며, 그러한 부분을 파악하고 보완하여 자연재해에 효과적으로 대응해야 한다. 이에 본 연구는 기후변화 적응 관점에서 우리나라의 자연재해 관리 정책의 바람직한 방향을 제시하고자 자연재해 피해 규모를 결정하는 요인이 무엇이며 향후 발생 가능한 자연재해의 직접피해액의 규모를 패널모형을 통해 실증적으로 분석하고 추정하였다. 그리고 추정된 직접피해액을 다지역 연산일반균형모형에 적용하여 향후 발생 가능한 자연재해의 파급효과도 살펴보았다.

자연재해 피해를 결정하는 요인에 관한 가설을 설정하고, 227개 시군구 패널모형을 통해 분석한 결과와 정책적 시사점은 다음과 같다. 첫째, 연 강수량이 자연재해 피해에 가장 큰 영향력을 행사하고 있음을 확인하였다. 기후 요인이 통제가 불가능한 점과 기후변화로 인해 강수량의 규모와 강도에 대한 불확실성이 증가하는 상황을 고려할 때, 기존의 복구 중심의 자연재해 관리 및 정책을 유지한다면 예측불가능한 상당한 규모의 자연재해 피해를 겪을 수 있음을 시사한다. 따라서 향후 발생 가능한 자연재해 피해 규모와 파급효과를 예측하는 시도가 필요한 시점이며, 이러한 예측을 통해 예방 중심의 자연재해 관리 정책을 유도할 수 있다. 둘째, 개인의 소득수준 향상은 자연재해 피해를 증가시키는 반면, 지방정부의 재정적 상황이 양호하면 자연재해 피해를 감소시킬 수 있음을 확인하였다. 지방정부의 재정적 능력에 따라 자연재해 피해 규모가 달라질 수 있다는 것은 자연재해 예방 및 복구의 주체인 지방정부의 역할이 중요함을 간접적으로 시사한다. 따라서 중앙정부가 자연재해 상황을 통제하고 관리하는 것도 중요하지만, 자연재해 예방과 관리 정책에 지방정부의 역할을 강화하고 협력하여 효율적으로 자연재해에 대응할 필요가 있다. 셋째, 불투수면 면적을 증가시키는 토지이용의 변화가 자연재해 피해를 가중시킬 수 있음을 확인하였다. 기후변화에 대한 적응 능력을 향상시키는데 도시계획 및 관리 정책이 중요한 역할을 할 수 있

으며, 투수층을 늘리는 방향으로 추진하여 사전적으로 자연재해 피해를 저감하려는 노력이 필요하다.

자연재해 피해 결정요인을 고찰한 결과, 기후 요인의 영향력이 가장 큰 것을 확인한 만큼, 자연재해 관리 정책 수립 시 기후변화에 따른 강수의 특성을 반영하려는 노력이 필요하다. 특히, 기후변화 적응 차원에서 향후 발생 가능한 자연재해에 따른 직접피해액 추정에도 기후변화에 따른 강수특성의 변화는 반드시 고려되어야 한다. 이에 본 연구는 16개 시도 패널데이터를 구축하여 기후변화 특성을 반영한 강수 예측자료를 통해 향후 발생 가능한 자연재해 피해액의 최소값, 평균값, 최대값을 추정하였다. 추정된 자연재해 피해액을 2015년 시점의 현재가치로 환산하면, 최대 자연재해 시나리오에서 전라남도의 자연재해 피해액이 3조 6,570억 원에 이르는 것으로 예측되었다. 그 뒤로 경기도, 강원도, 전라북도의 자연재해 피해액이 최대 자연재해 시나리오에서 2조 원 이상의 피해액을 기록할 가능성이 있는 것으로 추정되었다. 2013년부터 2060년까지 발생 가능한 연간 자연재해 피해액은 최소 3조 880억 원에서 최대 12조 200억 원의 범위를 갖는 것으로 나타났다.

자연재해로 인해 산업 활동이 저하되는 등의 간접적인 파급효과에 대한 분석도 필요하다. 이에 본 연구는 앞서 추정한 직접피해액의 최소값, 평균값, 최대값으로 자연재해 시나리오를 구성하고 이를 다지역 연산일반균형모형에 적용하여 향후 발생 가능한 자연재해의 경제적 파급효과를 분석하였다. 그리고 자연재해가 경제에 미치는 부정적 영향이 불투수면 면적 저감 정책을 통해 감소할 수 있는 규모가 어느 정도인지 정책실험을 통해 비교하고 분석하였다.

분석결과, 향후 발생 가능한 자연재해로 인해 국내총생산은 최소 0.54%에서 최대 2.06%까지 감소할 수 있으며, 이는 최소 4조 6,000억 원에서 최대 17조 5,500억 원에 해당하는 규모이다. 그리고 이 금액은 2014년 국내총생산 1,342조 원(2005년 불변가격) 대비 0.34% ~ 1.31%에 달한다. 지역내총생산의 변화를 살펴보면, 호남권이 최대 6% 이상 하락하였고, 이는 6조 840억 원에 달하는 규모이다. 반면, 수도권의 지역내총생산은 불과 1.49% 하락하였지만, 금액으로는 6조 1,354억 원에 달해 절대적인 규모 측면에서는 가장 간접적인 피해가 큰 지역이었다. 지역의 산업에 미치는 영향을 살펴보면, 주로 농림수산업, 건설업, 제조업의 생산이 둔화되는 것으로 나타났다. 농림수산업은 산업의 특성 상, 자연재해로 생산지가 파괴 되면 다시 회복하는데 장시간이 소요되어 가장 크게 영향을 받는 것으로 판단된다. 한편, 불투수면 면적 저

감에 따른 자연재해의 직접피해액과 간접피해액 규모의 변화를 살펴보면, 직접피해액이 6.37% ~ 7.03% 감소하였고, 이는 최소 1,900억 원에서 최대 8,280억 원에 달하는 금액이다. 지역별로는 호남권의 직접피해액 감소 규모가 5.98% ~ 6.01%로 가장 낮았다. 그리고 정책시나리오 적용에 따른 파급효과를 분석한 결과, 국내총생산이 자연재해 시나리오 대비 최대 0.18% 증가하며 1조 5,181억 원에 달하는 간접적 편익이 발생하는 것으로 나타났다. 다만, 정책시나리오에 따른 국내총생산의 증가는 기본모형의 국내총생산 수준까지 회복시키지는 못하였다. 지역내총생산도 최대 0.84% 증가하였지만, 기본모형의 지역내총생산 수준까지는 회복하지 못했다. 호남권의 지역내총생산은 최대 0.56% 증가하지만, 95% 이상 회복한 다른 지역과 비교했을 때 회복수준이 93.58%로 가장 낮았다.

결론적으로 기후 요인이 자연재해 피해 규모를 결정하는데 가장 큰 영향력을 행사하는 것을 확인하였고, 향후 자연재해로 인한 직간접피해액이 29조 원에 이를 것으로 추정되었다. 이와 같은 결과를 도출한 본 연구는 기후변화의 영향을 반영하여 직접피해액을 추정하고 다지역 다부문 연산일반균형모형에 적용한 점에서 과거 자연재해 피해액을 단일지역 다부문 연산일반모형에 적용하여 파급효과를 분석한 국내 선행연구와 차별된다. 또한 본 연구는 기후변화 적응차원에서 자연재해 관리 정책이 앞으로 나아가야 할 방향을 제시하고, 중앙정부는 물론 지방정부의 자연재해 관리 정책에 간접적으로 시사점을 제공한 점에서 의의가 있다. 구체적으로 본 연구의 정책적 시사점을 살펴보면, 자연재해 관리 정책 수립 시 기후변화로 인한 영향에 대한 고려가 필수적이며, 향후 발생 가능한 자연재해 피해 규모를 고려하여 자연재해 예방 중심의 정책 전환과 투자가 필요하다는 것이다. 그리고 자연재해 피해가 클 것으로 예상되는 호남권에 대해서는 중앙정부가 사전적으로 재해피해 규모를 줄이는 정책으로 이끌고, 호남권 지방정부도 한정된 예산과 자원 내에서 효율적으로 자연재해 피해를 저감시킬 수 있는 수단들을 적극 검토하고 실행할 필요가 있다.

주요어: 자연재해 피해의 결정요인, 패널모형, 자연재해의 직접피해액과 파급효과, 다  
지역 연산일반균형모형, 기후변화 적응  
학 번: 2011-30730

## <목차>

<b>제 1 장 서론</b>	<b>1</b>
제 1 절 연구의 배경 및 목적	1
제 2 절 연구의 범위	5
제 3 절 연구의 방법	7
<b>제 2 장 이론적 배경 및 선행연구 고찰</b>	<b>9</b>
제 1 절 기후변화와 자연재해	9
1. 기후변화와 자연재해의 관계	9
2. 자연재해가 미치는 사회경제적 영향	12
제 2 절 우리나라의 자연재해 관련 현황	14
1. 자연재해 현황 및 특징	14
2. 자연재해 관리 정책의 현황 및 문제점	22
제 3 절 선행연구 고찰	25
1. 자연재해 피해의 결정요인	25
2. 자연재해 피해액 추정	27
3. 자연재해의 경제적 파급효과 분석	31
4. 선행연구와의 차별성	39
<b>제 3 장 자연재해 피해의 결정요인 고찰</b>	<b>42</b>
제 1 절 가설 설정	42
제 2 절 가설 검증을 위한 모형 설정	46
1. 패널데이터의 특징	46
2. 패널모형의 유형 및 검토	47
제 3 절 패널데이터 구축 및 기술통계 분석	53
1. 패널데이터 구축	53
2. 기술통계분석	59
3. 주요 변수의 지역별 추세	61
4. 상관관계 분석	64
제 4 절 패널회귀분석 결과	66
1. 패널데이터의 안정성 검정	66
2. 패널회귀모형의 추정	67
제 5 절 결정요인 고찰 및 가설검증	79
1. 자연재해 피해의 결정요인 고찰	79
2. 가설 검증 및 시사점	81

<b>제 4 장 자연재해 피해액 추정</b>	<b>86</b>
제 1 절 패널데이터의 수정 및 기술통계분석	86
1. 16개 시도 패널데이터 구축	86
2. 기술통계분석	88
3. 상관관계 분석	89
제 2 절 자연재해 피해액 추정을 위한 패널회귀모형	91
1. 16개 시도 패널데이터의 안정성 검정	91
2. 패널회귀모형의 추정	91
제 3 절 자연재해 피해액 추정	96
1. 독립변수에 대한 가정과 자료수집	96
2. 자연재해 피해액 추정 결과	99
3. 추정된 자연재해 피해액의 현재가치	103
<b>제 5 장 자연재해의 경제적 파급효과 분석</b>	<b>106</b>
제 1 절 다지역 정태 연산일반균형모형	108
1. 연산일반균형모형	108
2. 다지역 정태 연산일반균형모형	112
제 2 절 다지역 사회계정행렬 구축	126
1. 사회계정행렬의 개념	126
2. 다지역 사회계정행렬의 작성	127
3. 계수 추정	129
제 3 절 분석결과	130
1. 시나리오 구성	130
2. 자연재해 시나리오	136
3. 정책시나리오 적용 결과	151
4. 소결	156
제 4 절 민감도 분석	159
<b>제 6 장 결론</b>	<b>161</b>
제 1 절 요약 및 시사점	161
제 2 절 연구의 한계 및 향후 연구 방향	165
<b>참고문헌</b>	<b>167</b>
<b>부록</b>	<b>175</b>



## <표 목차>

<표 2.2.1> 최근 10년간(2001-2010) 월별 자연재해 발생현황 .....	14
<표 2.2.2> 1987년과 2002년에 상위 10위권 내의 피해액을 기록한 지역 .....	15
<표 2.2.3> 총 피해액 대비 지역별 피해액의 비중(1979년-2012년) .....	16
<표 2.2.4> 자연재해 원인별 피해액(2010년 기준가격, 단위: 억 원)과 비중 .....	18
<표 2.2.5> 자연재해 피해 항목별 비중(2001-2012) .....	21
<표 2.2.6> 일본과 한국의 방재예산 비교(단위: 억 원) .....	22
<표 2.2.7> 국가 및 지방관리시설 피해액 비교(단위: 억 원, %) .....	23
<표 3.2.1> 패널데이터 분석모형의 구분 .....	50
<표 3.3.1> 모형에 반영 가능한 종속변수와 독립변수 .....	56
<표 3.3.2> 균형패널데이터의 구조 .....	57
<표 3.3.3> 지역내총생산 디플레이터 .....	58
<표 3.3.4> 기술통계분석 결과 .....	59
<표 3.3.5> 로그변환 후 기술통계분석 결과 .....	60
<표 3.3.6> 불투수면 비율 .....	63
<표 3.3.7> 피어슨 상관관계 분석 결과 .....	65
<표 3.4.1> 패널데이터의 단위근 검정 결과(p-값) .....	67
<표 3.4.2> 합동OLS 추정 결과 .....	68
<표 3.4.3> 이분산성과 자기상관 검정 결과 .....	69
<표 3.4.4> 일원오차성분 고정효과 모형 추정 결과 .....	70
<표 3.4.5> 일원고정효과 모형의 시간특성효과 .....	71
<표 3.4.6> 일원지역고정효과 모형을 통한 지역특성 분석 .....	72
<표 3.4.7> 5대강 유역의 평균경사와 형상계수 비교 .....	73
<표 3.4.8> 일원오차성분 확률효과 모형 추정 결과 .....	74
<표 3.4.9> 일원오차성분 모형에 대한 하우스만 검정 결과 .....	75
<표 3.4.10> 이원오차성분 고정효과 모형 추정 결과 .....	76
<표 3.4.11> 이원오차성분 확률효과 모형 추정 결과 .....	77
<표 3.4.12> 이원오차성분 모형에 대한 하우스만 검정 결과 .....	78
<표 3.5.1> 모형추정 결과 종합 .....	79
<표 4.1.1> 자연재해 피해액 추정을 위한 패널모형의 변수 .....	86
<표 4.1.2> 기술통계분석 결과 .....	88
<표 4.1.3> 로그변환 후 기술통계분석 결과 .....	88
<표 4.1.4> 피어슨 상관관계 분석 결과 .....	89
<표 4.2.1> 패널데이터의 단위근 검정 결과(p-값) .....	91
<표 4.2.2> 합동OLS 추정 결과 .....	92
<표 4.2.3> 이분산성과 자기상관 검정 결과 .....	92

<표 4.2.4> 모형추정 결과 종합 .....	93
<표 4.2.5> 하우스만 검정 결과 .....	94
<표 4.3.1> OECD가 전망한 한국의 국내총생산 성장률(1995년-2060년) .....	96
<표 4.3.2> 향후 발생 가능한 연간 자연재해 피해액(명목)의 최소값, 평균값, 최대값 ..	99
<표 4.3.3> 16개 시도별로 추정된 자연재해 피해액(명목)의 최소값, 평균값, 최대값 ..	100
<표 4.3.4> 지역별 평균 연강수량(2013-2060), 재정자립도 비교 .....	102
<표 4.3.5> 향후 발생 가능한 자연재해 피해액의 2015년 기준 현재가치(단위: 십억 원) ..	104
<표 5.1.1> 지역의 분류 .....	106
<표 5.1.2> 경제분석 모형별 장단점 .....	109
<표 5.1.3> 산업분류 .....	113
<표 5.1.4> 지역별 산업별 노동투입량(단위: 명) .....	116
<표 5.1.5> 모형의 내생변수와 외생변수 .....	124
<표 5.1.6> 지역별 산업별 순자본스톡 추정 결과(단위: 십억 원, 2005년 기준) .....	125
<표 5.2.1> 산업별 탄력성 모수 .....	129
<표 5.3.1> 자연재해 시나리오의 자연재해 피해액(단위: 십억 원, 2005년 기준) ..	131
<표 5.3.2> 자연재해 피해액 세부항목의 산업 분류 .....	132
<표 5.3.3> 권역별 산업의 자연재해 피해액 비율 .....	133
<표 5.3.4> 불투수면 면적 저감에 따른 자연재해 피해액 추정단위: 십억 원, 2005년 기준) ..	135
<표 5.3.5> 자연재해 시나리오에 따른 수도권 지역의 자본스톡 감소율 .....	136
<표 5.3.6> 자연재해 시나리오에 따른 수도권 경제의 변화 .....	137
<표 5.3.7> 자연재해 시나리오에 따른 충청권의 자본스톡 감소율 .....	139
<표 5.3.8> 자연재해 시나리오에 따른 충청권 경제의 변화 .....	140
<표 5.3.9> 자연재해 시나리오에 따른 호남권의 자본스톡 감소율 .....	141
<표 5.3.10> 자연재해 시나리오에 따른 호남권 경제의 변화 .....	142
<표 5.3.11> 자연재해 시나리오에 따른 경북권 지역의 자본스톡 감소율 .....	143
<표 5.3.12> 자연재해 시나리오에 따른 경북권 경제의 변화 .....	144
<표 5.3.13> 자연재해 시나리오에 따른 경남권의 자본스톡 감소율 .....	146
<표 5.3.14> 자연재해 시나리오에 따른 경남권 경제의 변화 .....	147
<표 5.3.15> 자연재해 시나리오에 따른 강원제주권의 자본스톡 감소율 .....	148
<표 5.3.16> 자연재해 시나리오에 따른 강원제주권 경제의 변화 .....	149
<표 5.3.17> 자연재해 시나리오에 따른 거시경제지표의 변화 .....	150
<표 5.3.18> 정책시나리오에 따른 자연재해 피해액 변화(단위: 십억 원) .....	151
<표 5.3.19> 정책시나리오에 따른 권역별 전체 생산의 회복 수준(단위: 조 원) ..	153
<표 5.3.20> 정책시나리오에 따른 권역별 산업별 생산 변화(단위: 조 원) .....	154
<표 5.3.21> 정책시나리오에 따른 국내총생산과 지역내총생산의 회복 수준(단위: 조 원) ..	155
<표 5.4.1> 민감도 분석(국내총생산) .....	159
<표 5.4.2> 민감도 분석(지역내총생산) .....	160

## <그림 목차>

<그림 1.2.1> 공간적 범위 .....	5
<그림 1.3.1> 연구흐름도 .....	8
<그림 2.1.1> 기후변화와 자연재해의 메커니즘 .....	9
<그림 2.1.2> 두꺼운 꼬리(Fat-tail)의 개념 .....	10
<그림 2.1.3> 연평균 강수량의 변화((a)1971년, (b)2000년) .....	11
<그림 2.1.4> 과거 관측치(1973년-2005년)와 RCP4.5와 8.5의 일 강수량의 변화 ...	11
<그림 2.2.1> 자연재해 피해액 추이(1979-2012) .....	20
<그림 3.3.1> 16개 시도의 10년 단위 평균 자연재해 피해액(1980~2012)(단위: 천억 원) ...	61
<그림 3.3.2> 16개 시도별 평균 불투수면 면적(단위: km <sup>2</sup> ) .....	62
<그림 3.3.3> 16개 시도별 평균 재정자립도 .....	63
<그림 3.3.4> 16개 시도의 일 최대 강수량 및 연 강수량의 최대값(단위: mm) .....	64
<그림 4.3.1> 예측된 강수량과 관측 강수량의 히스토그램 비교 .....	98
<그림 4.3.2> 16개 시도별 자연재해 피해액(명목)의 관측값과 추정값 비교 .....	101
<그림 5.1.1> 다지역 정태 연산일반균형모형의 구조 .....	112
<그림 5.1.2> 재화의 생산과 배분 .....	114
<그림 5.2.1> 지역간 사회계정행렬 .....	128

# 제 1 장 서론

## 제 1 절 연구의 배경 및 목적

홍수, 가뭄, 지진 등 다양한 자연 재해가 세계 곳곳에서 발생하고 있으며, 그 강도와 빈도가 해마다 증가하고 있다. 국제재난역학연구센터(Centre for Research on the Epidemiology of Disasters)에 따르면, 최근 20년간 전 세계적으로 자연재해는 연평균 약 374건이 발생했으며, 8만 명이 희생되었다. 이러한 인명피해와 더불어 재해피해액도 상당한 규모에 이르고 있으나, 피해액의 규모는 국가군별로 상이한 것으로 알려져 있다.<sup>1)</sup> IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change, 이하 'IPCC')(2012)에 따르면, 2001년부터 2006년 동안 고소득 국가는 국내총생산 대비 재해손실액(직접적인 피해액만 포함됨)이 0.1% 이하이고 저소득 국가는 0.3%인 반면, 중간소득 국가의 재해피해액은 국내총생산의 약 1%에 달하는 것으로 나타났다. 이와 같이 자연재해는 많은 사망자와 희생자를 양산하는 인적피해는 물론 사회기반시설을 파괴하는 등의 물리적 피해를 끼쳐 해당 국가의 경제뿐만 아니라 세계 경제에도 직접적인 영향을 미칠 수 있다.

이와 더불어 기후변화의 영향으로 불확실성이 커지면서, 기존의 일반적인 재해가 발생할 확률보다 극단적인 강도의 재해가 더 빈번히 일어날 것으로 예측된다(IPCC, 2007). 자연재해 강도와 빈도가 평균값을 중심으로 종 모양을 이루는 정규분포를 가지고 있을 때, 꼬리(tail) 부분이 얇아야 예측력이 높아지고 그에 대한 대응도 가능하다. 하지만 기후변화의 영향으로 꼬리 부분이 두터워지는, 즉 Fat-tail risk<sup>2)</sup>가 증가하고 있어, 평균적인 강도와 빈도를 가진 재해가 아닌 극단적인 강도와 빈도를 가진 재해의 발생 확률이 커지고 있는 상황이다.

---

1) 국제재난역학연구센터에서는 재해를 지역의 역량을 압도하여 국가 또는 국제사회의 도움이 필요한 상황 또는 사건, 대규모의 파괴, 인명피해 등을 일으키는 예상치 못한 돌발적인 사건으로 정의하며, 자연재해를 재해특성에 따라 지구물리학적 재해(지진, 화산, 산사태 등), 기상학적 재해(폭풍, 강풍 등), 수문학적 재해(홍수, 홍수에 의한 산사태 등), 기후학적 재해(폭염, 한파, 가뭄 등), 생물학적 재해(전염병)로 분류한다. 또한 ①10명 이상 사망자 발생, ②100명 이상 피해자가 발생, ③국가 비상사태 선포, ④국제원조 요청 등 네 가지 기준 중 하나 이상을 충족해야 재해로 인정한다.

2) Fat-tail risk는 꼬리 부분이 두터워져서 상대적으로 예측력이 떨어진다는 의미로, 일반적인 통계와 달리 금융시장에서는 나타날 확률이 높은 상황(평균값)보다 극단적인 경우가 더 빈번히 일어난다는 이론에서 비롯됐다(Weitzman, 2011).

IPCC(2007)의 제4차 평가보고서도 앞으로의 기후변화는 20세기와 비교하여 더욱 심화될 가능성이 있으며, 이로 인한 극한기후 등 재해를 유발하는 극한 기상현상의 빈도와 강도는 더욱 증가할 것으로 경고하고 있다. 이미 우리나라도 그러한 극한 기상 현상에 자유롭지 않으며, 태풍, 집중호우 등 강우 패턴의 변화로 인해 최근 10년(2001-2010)간 자연재해 피해액이 총 17.7조원에 달할 정도로 재산피해액의 규모가 급격하게 증가하고 있다. 하지만 매년 반복되는 자연재해를 경험하고, 앞으로 자연재해에 대한 불확실성이 더 커지는 상황에서도, 우리나라의 자연재해 관리 정책은 사전적인 재해예방보다는 사후복구 중심의 기조가 유지되고 있으며, 기후변화로 인해 점점 더 효율성이 떨어지고 더 많은 복구비를 소모시킬 가능성이 높다. 자연재해가 발생하기 전에 자연재해 피해를 최소화할 수 있는 재해예방과 투자 중심의 자연재해 관리 정책이 필요한 시점이다.

기후변화에 따른 불확실성의 증가는 자연재해의 규모와 강도에 대한 예측을 점점 더 어렵게 만들고 있지만, 우리가 통제하고 관리할 수 있는 부분이 반드시 존재하며, 그러한 부분을 보완하고 강화한다면 자연재해에 회복탄력적인(resilient) 사회를 만들어 나갈 수 있을 것이다. 따라서 과거 자연재해에 대한 실증적인 고찰을 통해 우리가 통제할 수 있는 부분이 있는지 확인하고, 향후 발생 가능한 자연재해 피해 규모를 합리적으로 추정하는 것은 의미 있는 작업이 될 수 있다. 이에 본 연구에서는 한국에서 그 동안 활발히 논의되지 않았던 자연재해와 경제적 영향에 대해서 이론적 검토와 실증적인 추정을 통해 세 가지 문제를 다루고자 한다.

첫째, 우리나라의 자연재해에 영향을 미치는 결정적인 요인은 무엇인가에 관한 것이다. 한정된 예산과 자원을 가지고 효율적인 자연재해 관리와 대응을 위해서는 자연재해 피해를 결정하는 요인이 무엇인지 살펴보는 것이 필요하다. 즉, 자연재해 피해를 증가시키는 요인이 무엇인지 파악하고 그에 대한 정책을 마련하는 것이 합리적일 것이다. 자연재해는 특정 요인에 의해 발생하지 않으며, 다양한 요인들이 복합적으로 작용하여 나타나는 현상으로 강우량과 같은 기후요인과 더불어, 인구성장, 경제활동, 도시화 등과 같은 인문사회 및 경제적 요인도 고려할 수 있다. 본 연구는 패널모형을 적용하여 자연재해 결정요인의 다양성을 반영하고, 자연재해 피해가 과연 기후요인에 의한 것인지, 인문사회 및 경제적 요인에 의한 것인지, 그 영향력은 얼마나 되는지를 실증 분석하고자 한다.

자연재해 피해를 결정하는 요인에 관한 국내 선행연구는 다소 부족한 상황이며,

상당수의 기존 연구들이 토목공학, 건축공학적 측면에서 홍수, 가뭄 등이 발생했을 때, 피해를 저감시키기 위한 댐, 저류지와 같은 구조물에 집중되어 있으며, 기타 분야에서는 자연재해 피해를 줄이기 위한 정책수단을 제안하는 수준에 머물러 있다. 또한 방법론 측면에서도 시계열분석 또는 횡단면 분석에 한정되어 있으며, 국가단위의 자연재해 특성과 원인을 분석하는 것에 치중하여 개별 지역의 자연재해 특성과 원인에 대한 분석은 부족한 상황이다. 이러한 의미에서 우리나라의 시군구 단위를 대상으로 자연재해 피해를 결정하는 요인을 분석한다면 향후 지역단위, 국가단위의 자연재해 관리 정책을 수립하는데 유용한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

둘째, 미래 시점의 강우량, 강우강도의 변화, 그리고 사회경제적 변화로 인해 증가할 것으로 예상되는 자연재해 피해액에 관한 것이다. 자연재해로 인한 피해를 저감 또는 완화시키기 위한 예방과 투자에 효율적으로 예산이 투입되기 위해서는 자연재해로 인한 경제적 피해액의 규모를 파악하는 것이 필요하다. 자연재해가 경제에 미치는 영향의 추정과 분석이 중요한 이유는 이러한 시도가 궁극적으로 재해복구 및 재해를 감소시키려는 노력의 기초가 되기 때문일 것이다(Rose et al., 1997; Okuyama, 2004).

자연재해의 경제적 영향은 직접적인 피해액과 간접적인 피해액으로 구분할 수 있다. 자연재해의 직접적인 피해액을 추정한 국내 선행연구는 많지 않으며, 과거 자연재해 피해액 자료를 바탕으로 빈도분석 또는 시계열 분석에 집중되어 있다. 특히 기후 변화에 따른 극한 기상현상이 증가할 것으로 예상되는 상황임에도 불구하고, 강우량, 강우강도와 같은 기상인자의 변화를 반영하지 않고 추정된 피해액이라는 점이 국내 선행연구가 갖는 가장 큰 한계점이라 할 수 있다. 이러한 기존 연구의 한계점을 극복하기 위해서는 미래의 강우량, 강우강도의 변화를 반영하여 자연재해의 직접적인 피해액을 추정하는 것이 필요하다. 이에 본 연구는 자연재해의 직접피해액 추정을 위해 기후특성의 변화를 반영하여 예측된 미래 시점의 강우량 자료를 적용하여 향후 예상되는 자연재해의 직접적인 피해액을 추정하고자 한다.

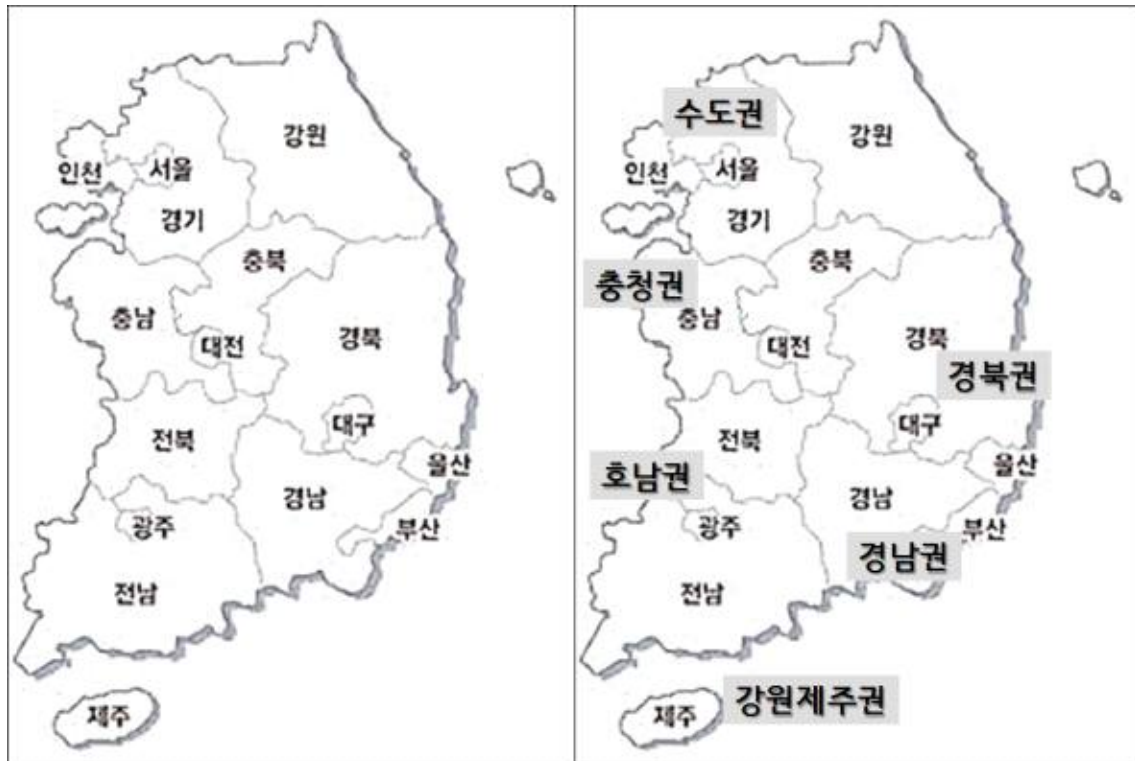
셋째, 추정된 자연재해 피해액이 발생했을 때, 국가 및 지역경제, 산업 활동에 미치는 간접적인 피해에 관한 것이다. 자연재해가 경제에 미치는 영향은 1차적인 직접 피해액에 그치지 않고, 2차적인 파급효과도 존재하기 때문에 이를 포함할 필요가 있다. 이에 본 연구는 다지역 연산일반균형모형을 통해 자연재해의 경제적 파급효과를 분석하고자 한다.

자연재해의 경제적 파급효과에 대한 선행연구는 국외에서 활발하게 이루어지고 있으며, 국내에서는 최근 2010년대에 들어서면서 국가를 대상으로 한 연구가 시도되고 있다. 자연재해의 경제적 파급효과에 대한 국내 선행연구들은 국가를 대상으로 하고 산업을 다부문으로 구성한 연산일반균형모형을 적용하여 어떤 산업이 자연재해에 취약한지 살펴보고 국내총생산 등 거시경제변수의 변화를 분석하였다. 그러나 자연재해로 인해 피해를 겪고 복구를 실행하는 것은 지역단위에서 이루어지기 때문에 지역을 대상으로 분석한다면 보다 실효성 있는 시사점을 제공할 수 있을 것이다.

기후변화에 따른 불확실성의 증가로 인해 앞으로 발생할 자연재해 규모와 강도가 어떻게 변화할지 점점 가늠하기가 어려워지고 있지만, 주어진 상황과 조건 내에서 자연재해에 효과적으로 대응하기 위한 노력은 계속되어야 한다. 이를 위해 본 연구는 자연재해 피해의 결정요인을 과거 자연재해 자료를 통해 실증적으로 분석하고, 향후 발생 가능한 자연재해가 경제적으로 미칠 영향을 분석하여 자연재해 관리 정책의 바람직한 방향을 제시하고자 한다.

## 제 2 절 연구의 범위

앞서 설명한 바와 같이, 본 연구에서는 크게 세 가지 문제를 다루며, 그에 따른 연구의 공간적, 시간적 범위도 다르게 적용된다(그림 1.2.1).



<그림 1.2.1> 공간적 범위

첫째, 자연재해 피해의 결정요인을 살펴보기 위해서 본 연구는 227개의 시군구를 대상으로 2001년부터 2012년까지의 패널데이터를 구축하여 기후요인, 사회경제적 요인 등이 자연재해 피해액에 미치는 영향을 고찰하고자 한다. 자료수집이 가능한 가장 작은 지역단위인 ‘시군구’를 대상으로 한다.

둘째, 향후 우리나라의 자연재해 피해액을 추정하기 위해서 본 연구는 16개 시도를 대상으로 2001년부터 2012년까지의 패널데이터를 구축한다(그림 1.2.1 왼쪽). 앞서 살펴본 227개 시군구 단위 자료는 최근에 분리되거나 통합된 시군구 일부를 제외시킬 수밖에 없어 국가 전체의 자연재해 피해액을 추정하는데 다소 적합하지 않다. 이에 자연재해 피해액을 추정하는 부분에서는 지역의 규모를 확대하여 16개 시도를 대상으로 한다. 16개 시도에 대한 강우량 예측자료와 앞서 분석한 자연재해 피해의



결정요인을 활용하여 자연재해로 인한 직접적인 피해액을 추정하고자 한다. 이와 같이 구축된 모형을 활용하여 미래 시점에 발생 가능한 자연재해 피해액을 추정하기 위해 모형에 입력되는 변수들의 전망자료나 예측값이 필요하다. 본 연구에서 확보 가능한 예측자료들을 수집하여 교차되는 최장의 시간적 범위는 2013년부터 2060년이다.

셋째, 추정된 자연재해 피해액이 지역, 국가 경제에 미치는 간접적인 피해, 즉 파급효과를 분석하기 위해서 본 연구는 지역의 사회경제적 특성을 고려하여 지역을 수도권(서울, 인천, 경기), 충청권(대전, 충북, 충남), 호남권(광주, 전북, 전남), 경북권(대구, 경북), 경남권(부산, 울산, 경남), 강원제주권 등 6개 지역으로 구분한다(그림 1.2.1 오른쪽). 이와 같이 6개 지역으로 구분한 다지역 연산일반균형모형을 구축하기 위해서는 사회계정행렬(social account matrix)을 작성해야한다. 사회계정행렬은 산업연관표를 기본으로 작성되며, 2015년 3월 현재 가장 최근에 작성된 지역산업연관표는 2009년 한국은행에서 발표한 ‘2005년 지역산업연관표(불변가격)’이다. 따라서 본 연구에서 활용할 다지역 정태 연산일반균형모형은 2005년을 기준년도로 한다.

### 제 3 절 연구의 방법

본 연구는 구체적으로 <그림 1.3.1>과 같은 방법과 흐름에 따라 진행되며, 총 6개의 장으로 구성된다.

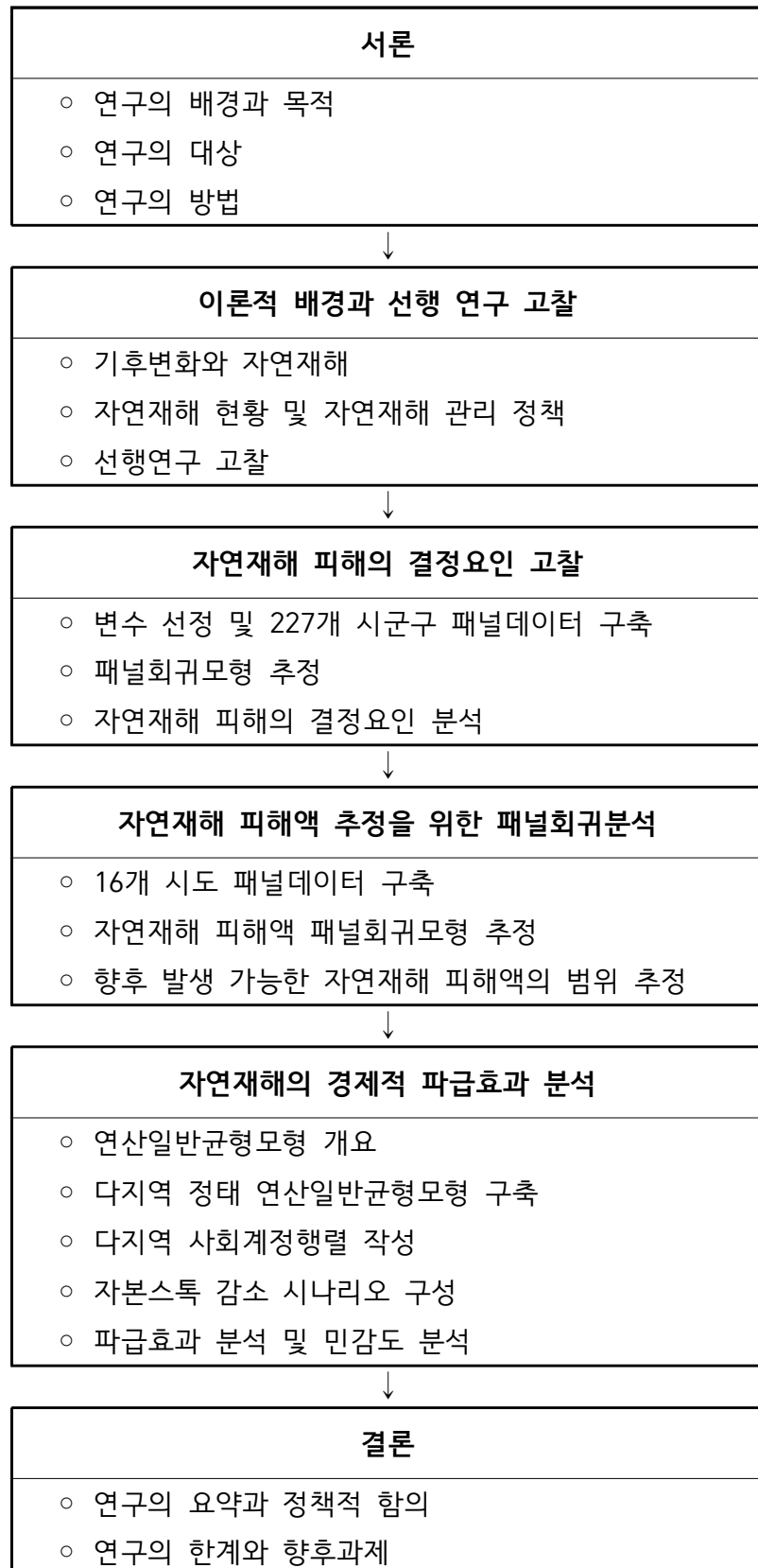
제 2 장에서는 본 연구에서 제기하고자 하는 자연재해와 관련된 문제들에 대하여 이론적으로 고찰한다. 가장 먼저 기후변화와 자연재해의 관계를 살펴봄, 기후변화 적응 차원에서 자연재해의 중요성을 확인한다. 그리고 우리나라의 자연재해 관련 제도와 정책의 현황과 문제점, 우리나라에서 발생하는 자연재해의 특징 등을 분석하여 향후 자연재해 관리 정책은 어떠한 모습을 갖추어야 하는지 고찰한다. 또한 자연재해 피해의 결정요인 분석, 자연재해에 따른 직접피해액 추정, 자연재해의 경제적 파급효과 분석에 대한 선행연구들을 고찰하여, 본 연구가 자연재해 관련 연구 분야에서 어떠한 위치와 차별성을 갖는지 살펴본다.

제 3 장에서는 자연재해 피해의 결정요인을 고찰하기 위해 2001년부터 2012년까지의 시계열 자료와 227개 시군구의 횡단면 자료로 구성된 패널데이터를 구축한다. 패널데이터 분석을 통해 자연재해 피해액을 증가시키거나 감소시키는 요인을 살펴봄으로써 자연재해에 효과적으로 대응하기 위한 정책적 시사점을 도출할 수 있을 것이다.

제 4 장에서는 자연재해 피해액에 대한 16개 시도 패널데이터를 구축하여 회귀분석을 실시한다. 특히, 패널데이터 분석을 통해 기후자료를 활용한 자연재해 피해액 추정모형을 구축하고, 강수량 예측자료를 적용하여 향후 발생 가능한 자연재해 피해액을 추정한다.

제 5 장에서는 다지역 정태 연산일반균형모형을 구축하여 자연재해의 경제적 파급효과를 분석한다. 연산일반균형모형을 이론적으로 설명하고 본 연구의 다지역 정태 연산일반균형모형의 구조를 설정한다. 그리고 연산일반균형모형의 기본 자료인 사회계정행렬을 작성하며, 이를 통해 모형 내 파라메타 값을 결정한다. 그리고 제 4 장에서 추정한 자연재해 피해액 규모만큼 자본스톡이 감소한다는 설정을 다지역 정태 연산일반균형모형에 적용하여 파급효과를 분석한다.

제 6 장에서는 연구의 결과를 요약하며, 본 연구의 결과를 바탕으로 자연재해 대응정책의 방향에 대한 정책적 시사점이 제시된다. 그리고 본 논문의 한계 및 향후 연구방향을 논의한다.



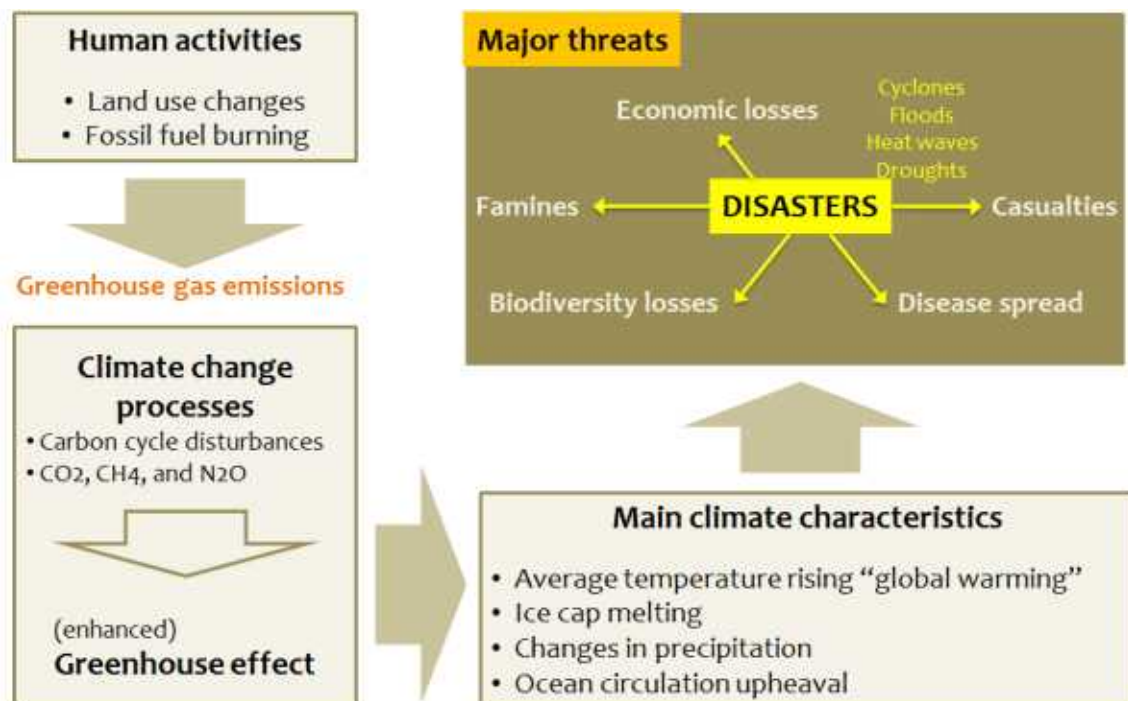
<그림 1.3.1> 연구흐름도

## 제 2 장 이론적 배경 및 선행연구 고찰

### 제 1 절 기후변화와 자연재해

#### 1. 기후변화와 자연재해의 관계

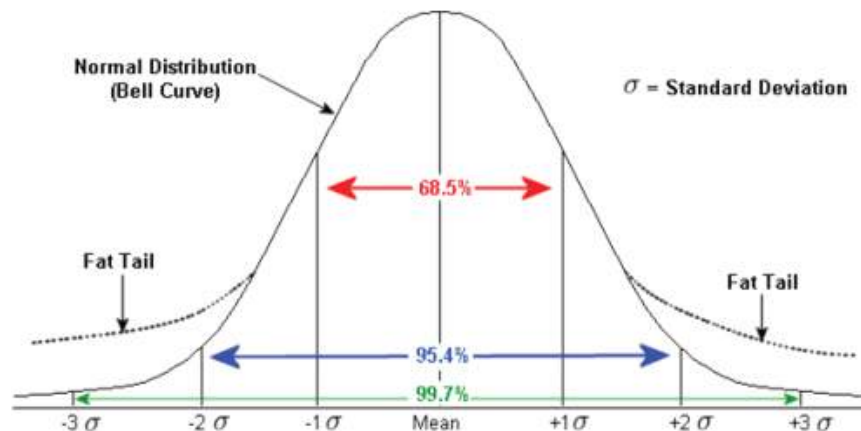
전 세계의 공통적인 관심사 중 가장 주목을 받고 있는 주제 중의 하나가 바로 기후변화이다. 이러한 기후변화는 토지이용의 변화, 화석연료 사용을 중심으로 한 인간의 활동이 이산화탄소를 비롯한 온실가스를 배출하고, 지구의 온실효과를 심화시킨 것에 기인한다. 그리고 온실효과가 심화됨에 따라, 지구의 기온이 상승하고, 북극의 빙하가 녹아내리며, 해수면이 상승하고, 바다의 한류 및 난류의 움직임이 변하는 등 각종 이상기후가 발생하고 있다. 이러한 이상기후로 인해 인간, 동물, 식물 등 모든 생명체가 기근, 생물다양성 감소, 전염병, 경제적 피해 등 다양한 형태의 위협에 노출되어 있으며, 이러한 위협은 홍수, 가뭄, 폭염 등 자연재해를 매개체로 전달되고 있다 (그림 2.1.1).



<그림 2.1.1> 기후변화와 자연재해의 메커니즘

자료: UNEP/GRID-Arendal Maps and Graphics Library, 2005.

이러한 기후변화와 자연재해의 관계는 전 세계적으로 자연재해의 발생빈도가 잦아지고 강도와 규모가 대형화되는 현상에서 확인할 수 있다. 자연재해의 강도가 증가하고 빈도가 잦아지는 현상은 ‘두꺼운 꼬리(Fat-tail risk)’로 설명할 수 있다(그림 2.1.2). 예를 들어, 강수량, 강우강도와 같은 기상현상도 통계적으로 정규분포를 따른다고 했을 때, 그 꼬리가 너무 두꺼워지면 평균에 집중되는 확률이 낮아져 예측력이 떨어진다. 일반적으로 정규분포 곡선의 꼬리 부분이 두껍지 않아야 평균값의 의미가 강해지고 통계학적 불확실성을 낮출 수 있는데 꼬리가 두꺼워지면 평균값 의미가 약해져 예측 자체가 어려워진다.



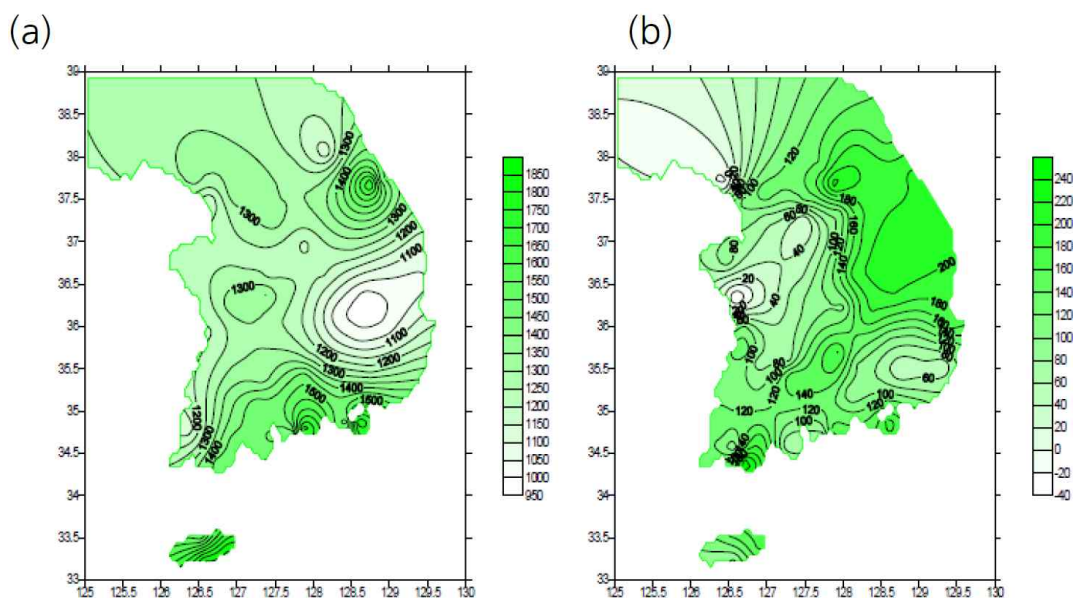
<그림 2.1.2> 두꺼운 꼬리(Fat-tail)의 개념

자료: <http://awealthofcommonsense.com/need-worry-hyperinflation/>

예측하기 힘든 대규모의 자연재해가 일어날 가능성은 매우 낮지만 그렇다고 무시할 정도로 낮지 않고, 그 확률이 점차 증가하고 있는 것이다. 확률분포에서 대규모 자연재해의 발생 확률이 줄어드는 속도와 그로 인한 피해가 커지는 속도가 경쟁하는데 어느 쪽이 이기느냐는 확률분포의 꼬리 두께로 결정되며, 기후변화로 인해 꼬리가 두꺼워지면서 대규모 자연재해의 발생 확률이 줄어드는 속도가 느려져 예전보다 발생 확률은 커지고, 피해가 커지는 속도도 증가하고 있는 것이다(Weitzman, 2011).

우리나라도 기후변화의 영향에서 예외일 수는 없다. 기상청(2009)에 따르면, 1999년부터 2008년까지 10년 동안의 연평균 강수량은 1,435.9 mm로 과거 30년(1971년 ~ 2000년) 대비 9.1% 증가하였고, 이러한 증가 추세는 모든 지역에서 나타나는 것으로 확인되었다. 또한 계절적으로는 겨울철 강수량이 평년값(120.8 mm)에 비하여 11.5% 감소한 106.6 mm로 나타났으며, 여름철 강수량이 평년값(722.8 mm)에 비하여 12.9%

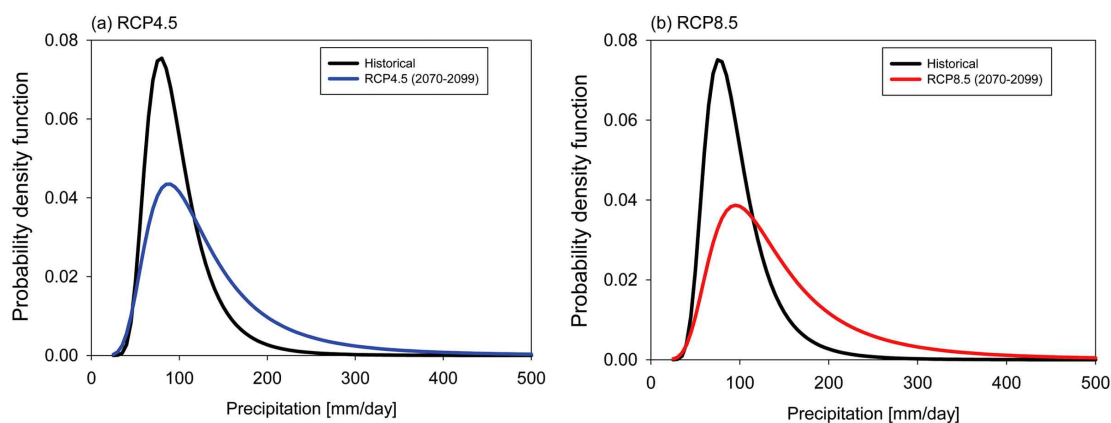
증가한 861.3 mm를 기록하였다. 그리고 전체 기간 총 강수량도 증가하는 추세를 보이고 있다(그림 2.1.3).



<그림 2.1.3> 연평균 강수량의 변화((a)1971년, (b)2000년)

자료: 기상청, 20009

연 강수량 증가와 더불어 일강수량에서도 꼬리 부분이 점차 두꺼워지고 있는 것을 확인 할 수 있다. 성장현 등(2012)은 한국을 대상으로 1973년부터 2005년까지의 일 강수량 자료와 RCP(representative concentration pathways, 이하 ‘RCP’) 시나리오에 따른 21세기 말(2070년~2099년)의 일 강수량의 변화를 비교하였다(그림 2.1.4).



<그림 2.1.4> 과거 관측치(1973년-2005년)와 RCP4.5와 8.5의 일 강수량의 변화

자료: 성장현 등, 2012

RCP4.5를 가정한 예측에서 일 강수량의 평균이 과거 78.1 mm에서 95.2 mm로 증가하였고, 일 강수량의 변동도 24.9 mm에서 43.6 mm로 현재에 비하여 증가할 것으로 전망되었다. RCP8.5에 따른 가정에서는 평균 일 강수량이 104.4 mm까지 증가하여 과거 관측치 대비 증가량이 RCP8.5가 RCP4.5보다 많았다. 이는 극한값의 평균과 변동성의 변화가 더 가속화되며, 미래일수록 분포의 꼬리가 지금보다 두터워져 큰 강수의 발생확률이 증가할 것으로 예상되었다(성장현 등, 2012).

이와 같이 기후변화로 인한 불확실성의 증가와 극한강도의 호우, 태풍으로 우리나라에서 발생하는 자연재해의 강도 또한 증가할 가능성이 충분히 존재한다. 즉 과거에 발생한 자연재해와는 비교할 수 없는 예측 불가능한 규모의 피해가 발생할 수 있다는 것이다. 물론, 기후변화에 대해 회의적인 관점에서는 이러한 극한 강도의 이상기후가 정상적인 범위와 주기 안에 있는 현상이라고 주장한다. 하지만 중요한 것은 기후변화의 존재여부와 상관없이 최근의 이상기후 현상들이 주기적으로 반복되는 일이라고 인정하더라도 극한 강도의 자연재해에 대비하고 피해를 최소화하기 위한 우리 사회의 노력은 여전히 필요하다는 것이다. 그리고 앞으로 자연재해의 강도가 더 강해질 것으로 예상됨에도 불구하고, 기존의 자연재해 관리 정책을 그대로 유지하고 적용하는 것은 효과적이지 않으며, 많은 사회경제적 비용을 치르게 될 것이다. 따라서 기후변화 적응 차원에서 우리나라의 자연재해 관리 정책이 보다 효과적으로 자연재해 피해를 최소화하고 신속하게 회복할 수 있도록 변화가 필요한 시점이다.

## 2. 자연재해가 미치는 사회경제적 영향

자연재해로 인한 피해는 단순히 강수량이 늘고 강도가 강해지는 자연현상에 의해서만 일어나지는 않는다. 그 지역에 사람이 거주하지 않고 어떤 시설도 설치되어 있지 않다면, 자연재해 피해는 없다고 말할 수 있다. 그렇다고 인문사회적인 요인에 의해 자연재해 피해가 결정되는 것도 아니다. 자연현상에 의한 원인 발생 없이는 어떠한 피해도 일어나지 않는다. 결국, 자연재해는 사람들이 거주하고 토지이용을 변화시키는 물리적 공간에 자연현상이 더해지면서 나타나는 것이다(Comerio, 1998). 이와 같은 특징을 갖고 있기 때문에 자연재해는 자연현상으로 그치는 것이 아니라 해당 지역, 국가 등 사회의 전반적인 영역에 걸쳐 영향을 주게 되며, 특히 가장 큰 영향을

미치는 것은 사회적, 경제적인 피해라 할 수 있다.

자연재해가 미치는 사회적 영향으로는 크게 피해당사자의 생활유지 곤란, 생활의 지 약화 또는 포기, 국가와 공공기관에 대한 불신, 재해피해로 인한 사회 전체의 불안감 확산 등으로 분류할 수 있다(국립방재연구소, 1998). 홍수에 의한 피해는 건물, 주택 등의 침수와 홍수류에 의한 생활필수품, 가전제품, 귀중자산 등의 유실로 나타나기 때문에 이재민들은 정상적인 생활을 유지하기가 힘들다. 이와 더불어 지금까지의 생활기반을 순식간에 잃었다는 허탈감과 이후의 생활대책에 대한 불안감에 의해 생활을 유지하고자하는 의지가 박탈되는 문제도 발생하게 된다. 자연현상이 근본적인 원인이 되어 발생하는 것이 자연재해이지만, 자연재해 피해를 최소화하기 위해 인위적으로 통제하고 관리할 수 있는 부분이 존재한다는 관점에서, 자연재해로부터 국민을 안전하게 보호해야할 의무가 있는 국가와 지방 정부에 대한 사회구성원들의 불신감이 커질 수 있다.

자연재해가 경제에 미치는 영향은 국가경제와 피해당사자들에게 가장 현실적으로 문제가 되는 부분이며 직접적인 피해와 간접적인 피해로 구분하여 파악할 수 있다. 직접적인 피해는 호우, 태풍, 풍랑 등으로 인해 주택, 건물이 침수되고 선박이 파괴되는 등의 피해라 할 수 있으며, 간접적인 피해는 침수피해로 인한 공장의 가동중지, 유실된 도로 및 교량으로 인한 우회 등으로 산업 활동이 저하되고 경쟁력이 손실되는 영향이라 할 수 있다(국립방재연구소, 1998). 특히, 자연자원이 부족하고 한정된 인력으로 경제성장을 유지하는 한국경제의 특수한 상황에서 자연재해로 막대한 규모의 피해가 발생하면, 자원 및 인력의 손실, 하천, 도로, 교량과 같은 공공시설물의 파손 등으로 추가적인 경제적 부담이 요구되며 이는 국가적으로 엄청난 손실을 불러올 수 있다.

이와 같은 자연재해의 사회경제적 영향은 우리나라의 자연재해 관리 정책에 시사하는 바가 크다. 왜냐하면, 한국경제가 갖는 특수성에 기후변화로 인해 불확실성이 더해지면서 향후 자연재해로 인해 피해액의 규모와 경제에 미칠 파급효과도 상당히 증가할 가능성이 존재하기 때문이다. 국토가 넓고 자원이 풍부한 나라와 달리, 집약적으로 토지와 자원을 이용하고 있는 우리나라는 상대적으로 더 큰 사회경제적인 피해를 입을 가능성이 있다. 따라서 자연재해 피해를 최소화할 수 있도록 우리가 강화하고 보완할 수 있는 요소가 무엇이고, 자연재해에 상대적으로 더 취약한 분야를 파악하여 한정된 예산과 자원을 효율적으로 쓸 수 있어야 한다.



## 제 2 절 우리나라의 자연재해 관련 현황

### 1. 자연재해 현황 및 특징

#### 1.1 자연재해 발생 현황

최근 급격한 도시화와 산업화로 세계 곳곳에서 이상기후 현상이 계속되면서 자연재해로 인한 피해가 점차 대형화, 다양화되고 그에 따른 사회경제적 부문에 미치는 영향도 증대되고 있다. 우리나라에서는 2001년부터 2010년까지 10년간 총 133 건의 자연재해가 발생하였다. 이중 인명피해가 684명 이었으며, 경제적 피해는 약 17조 440억 원(2010년 기준 가격)으로 분석되었다(표 2.2.1). 월별 발생현황을 살펴보면, 주로 7~9월(여름철)에 많이 나타나는데, 이는 우리나라에서 태풍 및 호우가 자연재해를 발생시키는 주요 원인임을 짐작할 수 있다.

<표 2.2.1> 최근 10년간(2001-2010) 월별 자연재해 발생현황(2010년 기준 가격)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월
발생건수	9	10	14	7	2	9	27
인명피해(명)	4	0	1	0	0	0	0
재산피해(억 원)	6,939	1,549	7,701	173	9	2,500	28,565
구분	8월	9월	10월	11월	12월	월평균	합계
발생건수	23	13	8	2	9	11	133
인명피해(명)	306	161	12	0	14	57	684
재산피해(억 원)	68,357	47,838	1,055	49	5,705	14,203	170,440

자료: 소방방재청, 2011

한편, 우리나라의 자연재해가 지역이라는 단위에서는 어떠한 특징을 갖고 발생하는지 두 가지 관점에서 살펴보았다. 첫째, 특정년도에 16개 시도 모두가 자연재해로 인해 일정 규모 이상의 피해를 입는 것이 가능한지 검토하였다. 이를 위해 1979년부터 2012년까지 34년 동안의 16개 시도별 자연재해 피해액 자료를 가지고 시도별로 해당지역의 자연재해 피해액 1위부터 10위까지 기록한 년도를 조사하였다. 그 결과

1987년에 14개 지역, 2002년에 13개 지역, 1999년에 11개 지역이 각 지역에서 기록한 상위 10위권의 피해를 입은 것으로 나타났다(표 2.2.2). 2002년에 강원, 경북은 지역에서 기록한 최고 자연재해 피해액을 기록하였고, 전북, 전남, 경남은 지역에서 기록한 상위 2위의 피해액을 기록한 해였다. 즉, 특정 년도에 1년이라는 기간 동안 여러 지역에서 다발적으로 자연재해 피해를 입을 가능성이 존재하는 것이다.

<표 2.2.2> 1987년과 2002년에 상위 10위권 내의 피해액을 기록한 지역

1987년		2002년	
지역	해당지역의 피해액 순위	지역	해당지역의 피해액 순위
인천	1	강원	1
충남	1	경북	1
대전	2	전북	2
부산	3	전남	2
울산	3	경남	2
경남	3	제주	2
서울	4	대구	3
전북	4	충북	3
제주	5	부산	6
충북	6	울산	6
전남	6	광주	8
경북	6	서울	9
광주	7	경기	10
경기	9	-	-

둘째, 자연 재해가 1년 동안 여러 시점에서 발생하지만, 여러 지역이 아닌 특정 지역에 집중적으로 피해를 주는 것이 가능한지 검토하였다. 마찬가지로 앞의 34년 동안의 자료를 가지고 수도권(서울, 인천, 경기), 충청권(대전, 충북, 충남), 호남권(광주, 전북, 전남), 경북권(대구, 경북), 경남권(부산, 울산, 경남), 강원제주권 등 6개 지역별로 각 년도별로 총 피해액 중 각 지역이 차지하는 비중을 살펴보았다(표 2.2.3). 2005년에 호남권이 자연재해 피해액 비중이 전체 피해액의 74.9%를 차지하였고, 2006년에는 강원제주권이 71.1%를 차지했던 것으로 나타났다. 이로써 1년 동안 특정지역에서 연간 피해액의 70%가 넘는 피해가 집중적으로 나타날 가능성도 존재하는 것으로 확인되었다.

<표 2.2.3> 총 피해액 대비 지역별 피해액의 비중(1979년-2012년)

	수도권	충청권	호남권	경북권	경남권	강원제주권	합계
1979	1.9%	21.4%	15.7%	12.0%	37.3%	11.8%	100%
1980	4.0%	60.2%	17.6%	9.3%	5.8%	3.1%	100%
1981	2.1%	7.1%	50.8%	5.6%	29.2%	5.1%	100%
1982	0.9%	2.8%	11.0%	11.8%	47.1%	26.5%	100%
1983	7.5%	2.7%	20.4%	38.9%	6.1%	24.3%	100%
1984	20.7%	6.9%	14.6%	10.9%	23.4%	23.5%	100%
1985	3.0%	4.2%	43.7%	12.5%	27.2%	9.5%	100%
1986	0.9%	5.2%	36.2%	3.0%	45.1%	9.5%	100%
1987	10.0%	36.2%	12.4%	5.4%	30.9%	5.2%	100%
1988	9.7%	43.1%	8.8%	22.4%	0.7%	15.3%	100%
1989	0.3%	13.0%	54.9%	7.0%	21.6%	3.2%	100%
1990	41.8%	15.1%	4.3%	4.4%	1.8%	32.6%	100%
1991	22.5%	1.5%	6.5%	41.2%	24.1%	4.0%	100%
1992	12.7%	45.6%	17.1%	4.3%	1.4%	19.0%	100%
1993	0.8%	2.4%	20.1%	24.2%	32.5%	20.0%	100%
1994	5.8%	42.7%	18.0%	10.8%	13.4%	9.3%	100%
1995	7.7%	52.8%	10.7%	5.5%	10.2%	13.1%	100%
1996	31.6%	4.1%	5.8%	1.1%	0.6%	56.8%	100%
1997	9.5%	1.8%	40.5%	11.7%	23.3%	13.3%	100%
1998	31.6%	16.0%	8.2%	28.3%	11.0%	4.8%	100%
1999	30.8%	9.1%	15.3%	9.7%	9.9%	25.3%	100%
2000	29.5%	10.5%	25.0%	11.1%	18.4%	5.5%	100%
2001	43.5%	23.5%	2.2%	9.5%	1.8%	19.5%	100%
2002	1.4%	5.3%	13.1%	15.5%	18.9%	45.8%	100%
2003	0.3%	2.1%	7.8%	17.7%	53.1%	19.1%	100%
2004	0.7%	61.1%	14.0%	12.3%	3.1%	8.8%	100%
2005	0.9%	4.4%	74.9%	7.8%	9.3%	2.6%	100%
2006	3.4%	6.4%	2.7%	3.4%	13.0%	71.1%	100%
2007	1.3%	14.6%	31.7%	4.6%	9.4%	38.3%	100%
2008	10.6%	12.5%	1.7%	55.5%	7.0%	12.7%	100%
2009	16.2%	16.6%	26.9%	0.9%	26.7%	12.5%	100%
2010	26.2%	38.1%	26.8%	0.4%	2.6%	5.9%	100%
2011	46.9%	4.4%	22.6%	4.0%	14.0%	8.1%	100%
2012	3.1%	9.3%	48.9%	12.7%	19.8%	6.1%	100%

주: 음영처리한 셀이 각 년도에 가장 높은 비율임.

우리나라의 자연재해는 여름철 7~9월에 집중적으로 발생하며, 1979년부터 2012년까지 과거 자연재해 피해액을 분석하였을 때, 1년이라는 기간 동안 여러 지역에서 상당한 규모의 자연재해 피해액을 입을 수 있는 가능성과 특정 지역에 집중적으로 피해가 발생할 가능성이 있음을 확인하였다. 이러한 특징을 고려했을 때, 앞으로 예상되는 극한 이상기후로 이전에 경험하지 못했던 집중적인 호우와 태풍이 발생한다면, 우리나라 전 지역에서 최대 규모의 자연재해 피해가 발생할 가능성을 완전히 부인할 수는 없다. 그럼에도 이러한 가능성을 고려하지 않고, 과거 자연재해 통계에만 의존하여 기존의 자연재해 관리 대책을 유지한다면, 자연재해 발생 시 피해의 규모는 더욱 증가하고 그 만큼 원래 상태로 회복하는데 상당한 시간이 걸려 막대한 규모의 사회경제적 비용을 치를 가능성이 높다.

## 1.2 자연재해의 주요 원인

2002년부터 2011년까지 10년 동안 자연재해 피해액의 원인별 비중을 살펴보면, 태풍과 호우가 우리나라 자연재해의 주요 원인임을 확인할 수 있다(표 2.2.4). 이 기간 동안의 총 피해액 중에 95%가 호우·태풍으로부터 발생한 것으로 나타났다. 호우와 태풍으로 인한 피해액은 연평균 약 3,324억 원이며, 자연재해 중에서 호우와 태풍으로 인한 피해액이 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 이를 고려한다면, 우리나라의 자연재해 피해는 홍수에 따른 피해가 우세함을 확인할 수 있으며, 기후변화 적응 차원에서도 자연재해, 특히 홍수에 대한 대응이 필요함을 알 수 있다.

우리나라 자연재해 중에서 태풍과 호우로 인한 피해액이 가장 큰 비중을 차지하는 특징은 기상학적, 지형학적, 사회경제적인 요인으로 구분해서 살펴볼 수 있다(김창완, 2002).

기상학적인 요인은 강우 강도와 총 강수량 측면에서 살펴볼 수 있다. 강우강도는 일 최대 강수량과 같이 일정시간 동안 집중적으로 내리는 호우의 규모를 설명해준다. 우리나라에서는 여름철 북태평양 고기압의 영향에 따른 장마와 폭우를 동반하는 태풍으로 인한 집중호우가 2~3일간 계속되어 홍수로 이어지는 경우가 많다. 이와 같이 집중호우처럼 강우강도의 규모가 클 때 홍수 피해가 커지지만, 이와 더불어 총 강수량도 함께 살펴봐야 한다. 왜냐하면, 일 최대 강수량이 800 mm가 넘는 집중호우가 1회에 그친 지역과 일 강수량이 300 mm의 호우가 1년 동안 5회에 걸쳐 나타난 지역이 있다면, 1년 동안 자연재해 피해액은 후자에서 더 클 수도 있기 때문이다. 우리나라

의 연평균 강수량은 1,274 mm 정도로 세계 연평균 강수량 730 mm보다 많은 편이다. 우리나라 전역에서 일 강우량이 80 mm 이상 되는 호우는 연평균 25회 정도이고, 150 mm 이상의 강한 호우는 연평균 7회 정도로 전체 호우의 약 85% 정도가 6~9월의 홍수기에 발생한다. 호우 발생빈도가 높은 지역으로는 남해안, 지리산 부근의 산청 지방, 강화도를 중심으로 한 경기 북부지방, 대관령 부근의 산간 지방과 제주도 지방이다(김창완, 2002).

<표 2.2.4> 자연재해 원인별 피해액(2010년 기준가격, 단위: 억 원)과 비중

	호우/태풍	대설	강풍/풍랑	해일	비중
2002년	82,689	0	0	0	
2003년	58,315	0	0	0	
2004년	6,941	8,405	114	0	
2005년	5,990	6,715	170	0	
2006년	23,211	63	82	69	
2007년	2,439	89	12	395	
2008년	648	40	77	265	
2009년	4,636	141	2	75	
2010년	4,101	703	457	3	
2011년	143,434	480	0	807	

자료: 국가재난정보센터(<http://safekorea.go.kr>)

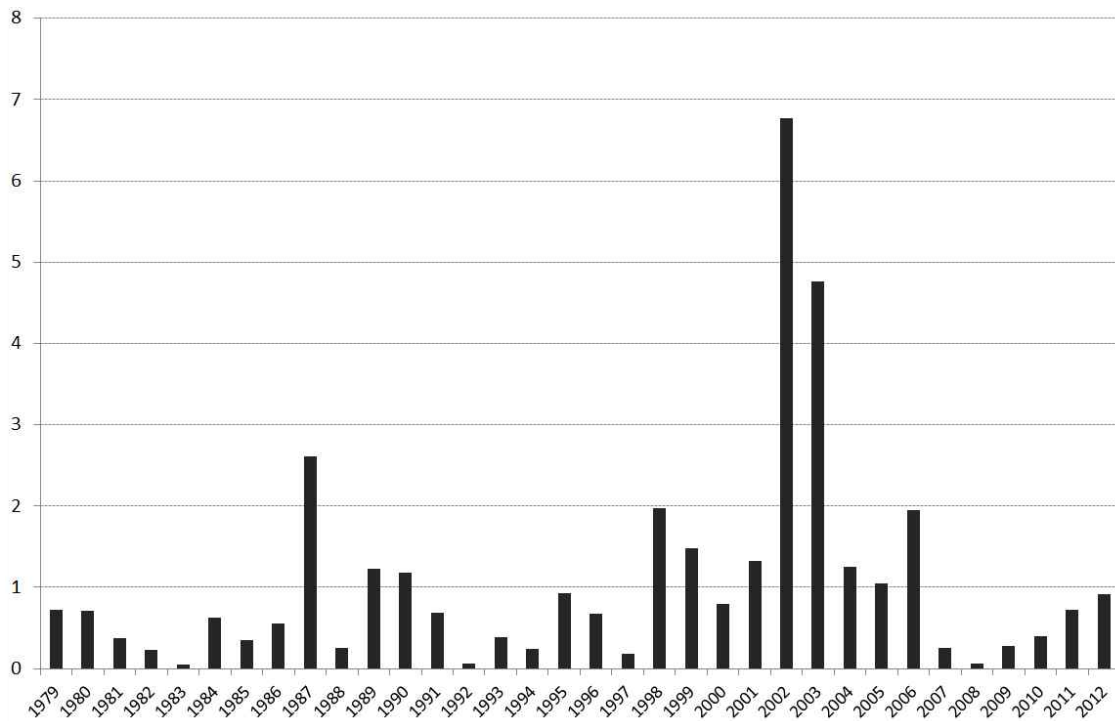
지형학적으로 우리나라는 전국토의 2/3 이상이 산지로 구성되어 있고 동고서저의 지형에 따라 대부분의 중소하천은 급류가 많고 호우가 하천유역에 집중되는 특징을 갖고 있다. 또한 산지의 대부분은 풍화된 화강암과 편마암으로 구성되어 피복토가 얇고 수분함유 능력이 적어 대량의 토사나 암석이 밀려와 산사태와 토사유출로 인해 홍수피해를 가중시키는 경향이 있다. 산지 하천은 유로 길이가 짧고 하상경사가 급하여 홍수는 강우 직후 1~3일 이내에 하구까지 도달한다. 이는 태국의 패남강, 인도의 갠지스강 등 습윤 열대지역의 대하천에서는 홍수가 상류에서 하류지역까지 도달하는 데 1~3개월 소요되는 것과 대조적이다. 하천의 최대유량 대비 최소유량의 비율을 나타내는 하상계수는 4대강 평균이 400 : 1로 세계 습윤지대의 하천에 비해 한 자리 수가 크다(김창완, 2002).

사회경제적 요인으로는 1970년 이후 급속히 진행된 산업화와 도시화를 들 수 있다. 많은 시설물과 사람들이 밀집된 공간에서 많은 자원을 소비하고 이용함에 따라 동일한 강도의 자연재해에도 상대적으로 재산피해액이 커지는 취약성을 갖고 있다. 반면, 시설물에는 자연재해를 예방할 수 있는 기능을 갖춘 제방도 포함될 수 있고, 자연재해 관리를 담당하는 인적자원과 조직도 갖추어 오히려 자연재해 피해를 최소화할 가능성도 있다. 즉 산업화와 도시화로 인해 인구밀도가 높아진다고 해서 재해 피해액이 반드시 증가한다고 말하기 힘들며, 적절한 자연재해 관리 정책이 이루어질 경우 오히려 감소할 가능성도 존재한다(최충익, 2004).

한편, 1979년부터 2012년까지의 자연재해 피해액을 살펴보면, 2002년에 6조 7,661억 원(2005년 기준)의 피해액으로 최고치를 기록하였다. 1990년에서 2000년대 중반까지 증가추세를 보였으나, 2000년 후반에서 최근 2012년까지는 뚜렷한 증가추세는 보이지 않고 있다(그림 2.2.1).

2002년은 태풍 루사로 인해 우리나라의 자연재해 역사 상 최대 규모의 피해액을 기록하였다. 2002년 이전의 기록에서는 1987년 2조 6,098억 원이 최대 피해액이었으며, 불과 13년 후에 2배가 훨씬 넘는 규모의 자연재해 피해액이 발생할 것이라고는 예상하지 못했을 것이다. 그리고 이때의 13년이라는 기간 동안에는 기후변화라는 불확실성이 크지 않았지만, 앞으로 5년, 10년, 20년은 그 불확실성이 상대적으로 더 클 가능성이 높다. 따라서 자연재해 피해액이 언제 사상최고치를 갱신할지 확신할 수는 없지만, 그리 오래 걸리지 않을 가능성도 있는 것이다.

우리나라의 자연재해에서 호우로 인한 피해액이 큰 요인을 기상학적, 지형학적, 사회경제적 요인으로 분류하여 살펴보았다. 그리고 1979년부터 2012년까지 34년 동안의 자연재해 피해액 추이를 분석하였을 때, 1980년대의 최고 피해액이 2002년에 2배가 넘게 증가하여 최고치를 갱신한 기록도 확인할 수 있었다. 기후변화로 인해 극한 강도의 강우와 그 빈도가 점차 증가하고 있는 현상을 간과할 수 없으며, 우리나라에서는 호우와 태풍이 자연재해의 주요원인인 만큼 더욱 무시할 수 없는 중요한 현상이다. 이와 더불어, 이상기후 현상이 상대적으로 적었던 1980~2000년대에서 10년여 만에 자연재해 피해액의 최고 기록이 갱신되었다는 것은 이상기후 현상이 날로 그 강도와 빈도가 높아지고 있는 상황에서 2002년 태풍 루사에 의한 최대 규모 피해액이 갱신될 날이 예상보다 앞당겨질 가능성도 존재함을 의미한다.



〈그림 2.2.1〉 자연재해 피해액 추이(1979-2012)

자료: 국가재난정보센터(<http://safekorea.go.kr>)

### 1.3 자연재해로 인한 주요 피해

우리나라에서는 자연재해로 인해 주로 공공시설, 농경지 등이 직접적으로 피해를 입는 것으로 나타났다. 2001년부터 2012년까지의 자연재해 피해액을 항목별로 살펴보면, 공공시설 68.9%, 기타시설 24.5%, 농경지 4.3%로 공공시설의 피해가 가장 큰 비중을 차지하였다(표 2.2.5)

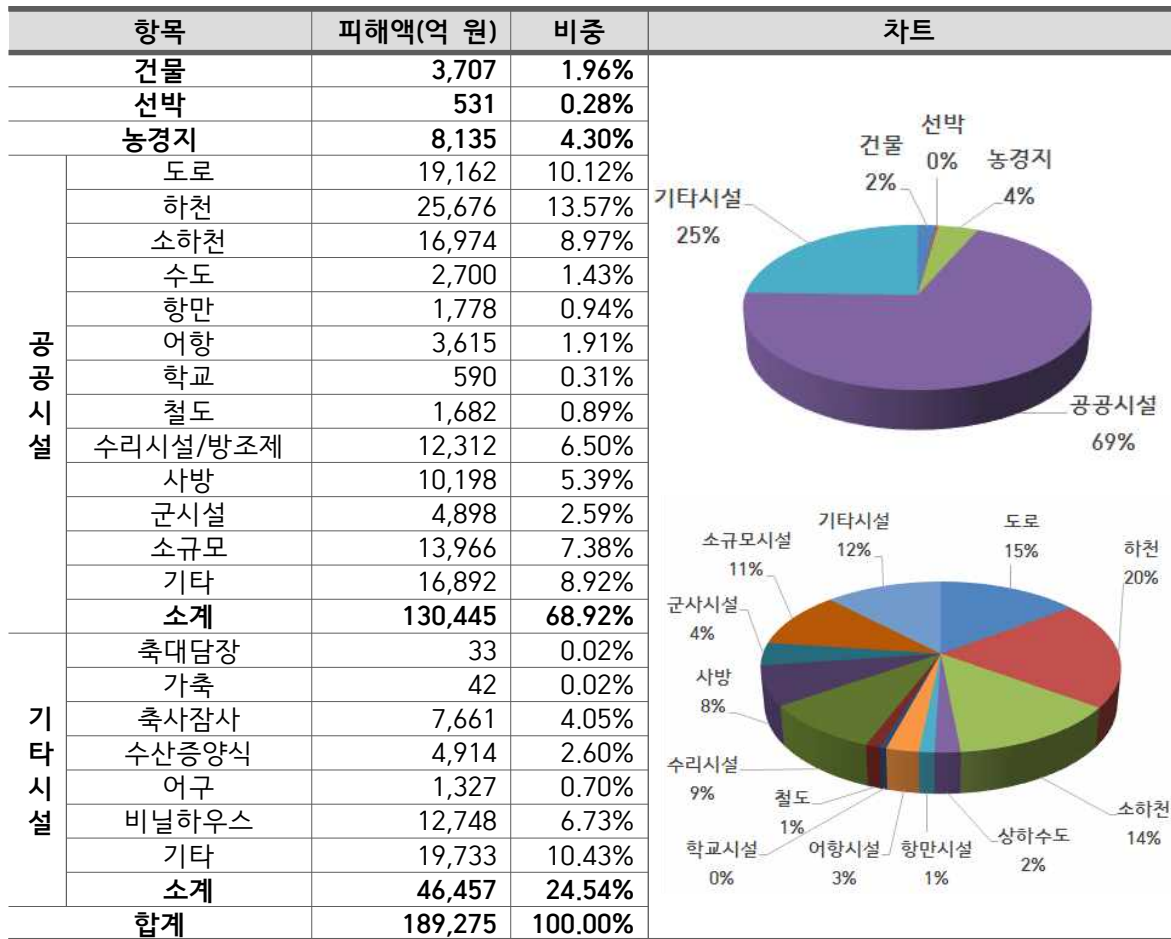
공공시설에는 도로, 하천, 수도, 항만, 방조제 등이 포함되어 있으며, 세부항목 중에는 하천관련(하천, 소하천) 피해가 22.5%로 가장 피해가 컸다. 이는 우리나라에서 발생하는 자연재해의 대부분이 호우, 태풍으로 인한 홍수에 해당하기 때문에 하천에서의 피해가 큰 것으로 판단된다. 그 다음으로 도로와 기타항목의 비중이 높았는데, 기타항목에는 농로와 소규모 교량 등이 포함되어 있다.

기타시설에는 축대, 담장, 축사, 양식, 기타 등 다양한 소규모 시설이 포함되어 있으며, 기타 항목에서의 피해가 10.4%로 가장 높았다. 기타시설의 기타항목에는 공장, 도소매 사업장 등을 말한다.

이와 같이 공공시설과 기타시설이 전체 자연재해 피해액의 93.4%를 차지하여 우리나라에서는 자연재해로 인해 하천, 도로 등에서 발생하는 피해액이 큰 것으로 분석

되었다. 우리나라에서 발생하는 자연재해 중에서 홍수의 비중이 크다보니, 하천, 소하천에서 발생하는 피해액의 규모가 상당한 것이다. 이처럼 하천에서 발생하는 자연재해 피해액이 크고 기후변화라는 불확실성 요소가 더해지면서 앞으로 하천관리와 자연재해 예방 및 관리 정책의 중요성이 커지고 있다.

<표 2.2.5> 자연재해 피해 항목별 비중(2001-2012)



자료: 국가재난정보센터(<http://safekorea.go.kr>)

한편, 하천의 관리주체는 하천등급에 따라 구분되는데, 2008년 4월 7일부터 하천 등급체계가 국가하천과 지방하천으로 단순화 되었으며, 전체하천의 86%가 지방하천에 해당한다(이용직, 2009). 국토해양교통부가 관리하는 국가하천을 제외하고, 지방하천의 지정과 공사, 유지관리는 모두 시도가 담당하고 있다. 따라서 기후변화에 따른 불확실성이 증가하고 이상기후 현상이 잦아지는 상황에서 하천관리를 실제적으로 담당하고 있는 지방정부의 역할이 점점 더 중요해질 것으로 예상된다.



## 2. 자연재해 관리 정책의 현황 및 문제점

지금까지 살펴본 기후변화와 자연재해의 관계, 우리나라의 자연재해 발생현황과 특징을 고려했을 때, 우리나라의 자연재해 관리정책은 과연 효과적으로 이루어지고 있는지 예산 집행을 중심으로 현황을 살펴보고 문제점을 짚어볼 필요가 있다.

### 2.1 복구중심의 정책과 악순환

우리나라의 예방투자비 대비 피해복구비를 비교해 보면, <표 2.2.6>에서 보는 바와 같이 피해복구비는 2002년도 9조 486억 원, 2003년도 6조 7,401억 원, 2004년도 1조 8,821억 원 등 최근 5년간 합계액이 21조 687억 원에 이르고 있으나, 예방투자비의 5년간 합계액은 피해복구비의 절반에도 미치지 못하는 10조 5,242억 원에 불과한 실정이다.

<표 2.2.6> 일본과 한국의 방재예산 비교(단위: 억 원, 2005년 기준)

방재예산		2000	2001	2002	2003	2004	합계
일본	예방투자(A)	346,110	334,860	323,290	242,000	249,040	1,495,300
	피해복구(B)	68,920	61,840	54,390	25,170	24,160	234,480
	계(A+B)	415,030	396,700	377,680	267,170	273,200	1,729,780
	비율	17%	16%	14%	9%	9%	14%
한국	예방투자(A)	17,549	19,873	18,915	25,482	23,423	105,242
	피해복구(B)	15,330	18,649	90,486	67,401	18,821	210,687
	계(A+B)	32,879	38,522	109,401	92,883	42,244	315,929
	비율	47%	48%	83%	73%	45%	67%

자료: 국회예산정책처, 2005

국회예산정책처(2005)에 따르면, 전체 방재예산에 대한 복구예산의 비율을 일본과 비교한 결과, 우리나라는 2000년도 47%, 2001년도 48%, 2002년도 83%, 2003년도 73%, 2004년도 45%, 5년간 평균 67% 수준으로 매우 높게 나타났다. 그러나 일본의 경우 2000년도 17%, 2001년도 16%, 2002년도 14%, 2003년도 9%, 2004년도 9%, 5년간 평균 14%로서 우리나라에 비해 전체 방재예산에 대한 복구예산의 비율은 매우 낮다. 또한 피해복구비 금액도 2000년도 6조 8,920억 원, 2001년도 6조 1,840억 원, 2002년도 5조 4,390억 원, 2003년도 2조 5,170억 원, 2004년도 2조 4,160억 원으로 연차적으로 감소되는 추세에 있다. 즉, 일본의 경우 예방투자 위주로 방재예산이 지속

적으로 편성됨으로 인해 우리나라에 비해 전체 방재예산에서 복구예산이 차지하는 비중이 작을 뿐만 아니라 연차적으로 감소되고 있는 것으로 나타나고 있다(국회예산정책처, 2005). 이는 자연재해 예방투자가 피해를 줄일 수 있으며, 그 결과로 복구비 지출도 동반 감소하여 궁극적으로는 재정부담도 줄일 수 있음을 간접적으로 시사하고 있다.

그러나 방재예산에 있어 우리나라는 체계적인 예방투자보다는 사후 복구위주의 임시방편적인 투자가 이루어져 왔으며, 그 결과 2002년도 및 2003년도의 태풍 루사와 매미와 같이 예측하지 못한 대형 태풍이 발생할 경우, 피해액도 커질 뿐만 아니라 그 피해를 복구하는데 더 많은 비용을 소모하여 복구비 비중이 83%까지 증가하였다. 이는 기후변화로 인해 앞으로 얼마나 큰 강도의 태풍, 집중호우가 발생할지 불확실성이 더 커지고 있는 상황에서 사후 복구 중심의 정책을 유지하는 것은 자칫 국가를 회복 불가능한 상태로 빠뜨릴 수 있음을 시사한다.

## 2.2 지방정부의 역할 및 예방 투자 미흡

2002년 ~ 2005년간 재해피해 현황을 살펴보면, 국가관리시설이 14%, 지방관리시설이 86%를 점유하고 있다(표 2.2.7), 그러나 재해예방투자는 국가사업이 84.1%, 지방사업이 15.9%를 점유하고 있으며 부처별 관리대상에서 제외된 지자체의 재해취약시설이 1만 565개소(총사업비: 잠정 12조 1,479억 원)가 있어 지자체관리시설에 대한 예방투자가 미흡한 실정이다. 따라서 재해예방사업에 대한 국가재정의 투자는 국가관리시설뿐만 아니라 지방관리시설에 대해서도 확충될 필요가 있다고 하겠다.

<표 2.2.7> 국가 및 지방관리시설 피해액 비교(단위: 억 원, %)

구분	피해액	구성비
국가관리시설	10,477	14
지방관리시설	64,329	86
합 계	74,806	100

자료: 국회예산정책처, 2005

이와 함께 재난관리의 책임은 국가뿐만 아니라 지방정부에도 있으나 현재 지방정부가 재해예방을 독자적으로 추진할 유인책이 없으며 재정도 여의치 않다는 점도 문

제이다. 대규모 재해발생시 중앙정부에서 관리하는 재해대책예비비는 본예산에 비해 지방정부에 배정하는 시간이 많이 소요된다. 재해에 따른 피해에 대하여 초기에 신속하게 대응하지 못할 경우, 그 피해는 커질 가능성이 있으며 피해를 최소화하기 위해서는 복구사업을 신속히 추진할 필요가 있다. 그러나 재해대책예비비의 예산배정에는 국무회의 심의, 대통령 재가 등의 절차를 통해 통상 1개월이 소요되며, 대규모 재난 발생으로 예비비가 부족할 경우 국회심의 등 추경예산 편성절차 이행으로 2개월 이상 소요되고 있다(국회예산정책처, 2005). 따라서 자연재해 피해를 최소화하기 위해서는 지방정부의 역할이 중요하며, 재정규모가 한정되어 있는 만큼 효율적인 재해예방 투자가 절실하고, 대규모 재해 발생 시 중앙정부의 지원 전에 지방정부가 자체적으로 복구를 시작할 수 있는 재정적 여건을 마련할 필요가 있다.

또한, 1990년대 후반 이후로 자연재해의 규모가 커지면서 그로 인해 복구사업의 추진 및 관리가 과거보다 힘들어지고 있다. 특히, 이상기후의 빈도가 증가함에 따라, 2002년 태풍 루사, 2003년 태풍 매미 보다 더 큰 피해가 발생할 가능성도 점점 높아지고 있다. 그럼에도 불구하고 사후 복구 중심의 자연재해 관리 정책을 유지한다면, 점점 더 큰 비용을 지불할 수밖에 없다. 예방 중심의 자연재해 관리 정책으로의 전환이 필요하며, 예측이 쉽지는 않지만 향후 발생 가능한 자연재해 피해 규모를 미리 인지하고 자연재해 예방 관련 예산을 효율적으로 배분하고 예방효과를 극대화할 수 있을 것이다. 따라서 자연재해 피해를 사전적으로 저감시키고 피해를 신속히 복구할 수 있는 예방 중심의 효율적인 자연재해 관리 정책을 마련하기 위해 향후 발생 가능한 자연재해 피해액을 추정하고 경제적 영향을 분석하는 시도가 필요하다.

## 제 3 절 선행연구 고찰

### 1. 자연재해 피해의 결정요인

우리나라에서 발생하는 자연재해의 대부분이 홍수임을 감안할 때, 홍수 피해 규모를 결정하는 요인에 대한 선행연구들을 중점적으로 살펴본 결과, 공통적으로 홍수가 태풍, 호우 등 기상현상과 밀접하게 관련되어 있음을 실증적으로 보여주었다(White et al., 1958; Changnon, 1980; Changnon, 1996, Pielke and Downton, 2000). 1990년대 이전의 연구에서는 기상현상을 자연적 요소로서 통제 할 수 없는 요인으로 분석하였지만, 1990년대 후반부터는 기후에 미치는 인간 활동의 영향이 커지고 기후변화로 인해 재해의 강도와 빈도가 변화하고 있음을 밝혀내었다(Karl and Knight, 1998; IPCC, 1996). 과거에는 자연재해라는 것이 자연현상의 하나로 인식하였지만, 이제는 인간의 활동과 관련된 요인들의 영향이 중요한 원인이 될 수 있다는 인식이 점점 더 강해지고 있는 것이다. 즉, 자연재해가 원천적으로는 집중호우, 대설 등 자연현상에 의해서 발생하지만, 피해의 규모와 범위에는 사회경제적, 정책적 조건들이 영향을 미칠 수 있다.

그 결과, 사회경제적 요인과 정책적 요인들이 자연재해 피해 또는 인명피해 규모에 미치는 영향을 실증적으로 분석하는 시도가 이루어졌다(Kunkel et al., 1999; Toya and Skidmore, 2007). 사회경제적 요인으로서는 인구, 소득수준 등에 따라 자연재해 피해규모가 달라질 수 있음을 보여주었다. 특히 소득과 관련해서는 소득이 높을수록 가치가 높은 자산으로 인해 피해 규모가 커진다는 결과와 재해예방을 위한 장비와 시설투자로 인해 피해 규모가 상대적으로 작다는 결과가 공존한다. Kunkel et al.(1999)는 자산의 가치가 높고 부(wealth)가 점점 축적되면서 동일한 수준의 자연재해에도 피해액이 더 커질 수 있음을 지적하였다. 반면, Toya and Skidmore(2007)는 소득이 높은 국가일수록 자연재해 예방을 위한 사회간접자본시설에 대한 투자가 이루어지고 복구에 필요한 예산확보도 용이하여 피해규모가 감소하는 것을 보여주었다. 한편, 최근에는 소득과 자연재해 피해규모는 역 U자의 관계가 있다는 연구결과도 존재한다(Kellenberg and Mobarak, 2008). 따라서 소득과 자연재해와의 관계는 일관된 결과를 보여주고 있지 않으며, 분석 대상이 되는 지역, 국가의 다양한 조건과 모형에 활용된 변수에 따라 다양한 해석이 가능한 것으로 풀이된다.

사회경제적 요인과 더불어 도시화와 자연재해의 관계에 대한 연구도 많이 이루어졌다(Lundgren, 1999; WMO and GWP, 2008). 이 연구들의 공통된 주장은 사회경제적 요인인 인구와 소득수준이 증가하는 자체가 자연재해 피해규모를 증가시키기 보다는 인구와 소득이 늘어남에 따라 변화된 토지이용이 자연재해와 더욱 밀접하게 관련되어 있다고 주장하였다. 즉, 도시화로 인해 불투수면 면적이 증가하여 집중호우시 배수능력에 문제가 발생하고 이것이 재해로 이어질 수 있다는 것이다. 이와 같은 인간의 활동과 밀접하게 관련된 도시화 요인이 자연재해 피해 규모를 결정하는데 중요한 역할을 하고 있다는 주장은 역으로 생각하면 인간의 노력으로 자연재해 피해 규모를 감소시킬 수 있음을 보여준다. 즉, 불투수면 면적을 증가시키는 도시화를 지양하고, 투수층을 늘려나가는 토지이용을 고려한 도시계획이 적용된다면 자연재해 피해를 저감시킬 수 있음을 의미한다.

한편, 자연재해 관리 정책에 따라 피해 규모가 달라질 수 있음을 보여준 연구도 있다. Labaton(1993)은 자연재해가 매년 반복됨에도 불구하고 정부의 자연재해 관리 정책이 제대로 효과를 내지 못하고 있다고 지적하였다. Changnon(1996)도 인구증가, 도시화, 정부의 정책에 따라 재해피해 규모가 어떻게 달라질 수 있는지 미국을 대상으로 실증적으로 분석하였다.

국내에서도 자연재해 피해를 결정하는 요인들에 대하여 분석한 연구가 존재한다. 최충익(2004)은 경기도를 대상으로 패널모형을 통해 자연재해 피해 결정요인을 분석하였는데, 인문사회적 요인(인구밀도), 자연적 요인(강수량), 물리적 요인(도시적 토지이용), 방재적 요인(제방면적 등)로 구분하여 고찰하였다. 그 결과, 강수량과 관련된 자연적 요인의 영향이 가장 큰 것으로 나타났으며, 도시적 토지이용도 유의미하게 영향을 미치는 것으로 분석되었으나 인구밀도와 제방면적은 유의미한 계수를 보여주지 못했다. 정준호와 허인혜(2013)는 강원도를 대상으로 결정요인을 분석하였으며, 기후요인과 사회경제적 요인을 중심으로 자연재해 피해액에 미치는 영향을 살펴보았다. 종속변수로 총 피해액, 독립변수로 1인당 지역내총생산, 인구, 면적 등 사회경제적 요인과 호우일수, 풍속 등 기후요인을 구성하여 분석하였다. 그 결과 기후요인이 가장 크게 영향을 미치며, 소득수준은 자연재해에 대한 취약성을 높이는 것으로 나타났다. 이와 같이 자연재해 피해 결정요인에 대한 국내연구는 소수에 불과하며, 분석대상도 경기도와 강원도로 제한적인 상황으로 우리나라의 자연재해 피해를 결정하는 특징적인 요인이 무엇인지 명확하게 보여주지 못하고 있다. 따라서 분석대상을 확대하고, 결

정요인으로 검토할 변수들도 더 세분화하여 우리나라의 자연재해 피해 규모에 중요한 영향을 미치는 요인을 도출하여 자연재해 관리 정책의 방향을 제시할 필요가 있다.

지금까지 자연재해 피해 결정요인에 대한 선행연구 결과들을 종합해보면, 자연재해는 강수, 강설 등 기후요인과 더불어 인간의 활동과 관련된 사회경제적 요인, 도시화 요인, 정책적 요인이 복합적으로 작용하면서 발생하는 것으로 보인다. 따라서 이러한 요인들 중에 어떠한 요인이 상대적으로 더 크게 영향을 미치는지 파악하여 자연재해 피해를 최소화하기 위한 효과적인 정책 마련이 필요하다.

## 2. 자연재해 피해액 추정

자연재해 피해액을 추정한 선행연구들을 살펴보면, 크게 재난모형을 활용한 연구와 회귀모형을 통해 추정한 연구로 구분할 수 있다.

### 2.1 재난모형을 통해 피해액 추정

재난모형은 자연재해 및 인위적 재난으로 인해 발생하는 손실을 평가하는 모형으로서, 기상학, 구조공학, 보험 등 여러 분야의 학문이 통합되어 있다. 재난모형은 1980년대 말과 1990년대 초, 미국을 중심으로 보험업계와 과학계가 재난으로 인한 손실을 계산하는 모형을 개발하면서 시작되었다. 현재 북미나 유럽에서는 EQECAT, AIR Worldwide, Risk Management Solutions 등의 리스크 평가 기관이 자체적으로 재난모형을 개발하여 보험업계, 기업, 정부기관 등의 재난 리스크를 자문해주고 있다. 정부기관에서도 홍수보험, 지진보험 등의 보험요율 산정과 국가 재난 정책 수립을 위해 재난모형을 직접 개발하고 있는데, 그 대표적인 예가 미국의 HAZUS이다. 연방재난관리청의 주도하에 개발된 HAZUS는 미국에서 대규모로 자주 발생하는 홍수, 허리케인, 지진으로 인한 재산 손실을 평가하고 인명 피해를 예측하는데 사용하는 소프트웨어로 2011년 현재 HAZUS-MH5까지 공개되었다.

HAZUS-MH4는 재난 모듈, 자산정보 모듈, 취약성 모듈, 손실 모듈 등 재난모형의 기본 요소로 구성되어 있다. 재난 모듈은 재난의 위험도를 평가하는 단계로, 지진의 경우 지반운동 및 진동강도, 허리케인의 경우 최대순간 풍속, 홍수의 경우 홍수심 및 홍수범위 등이 분석된다. 자산정보 모듈은 최근 실시된 인구조사 자료를 바탕으로 구

성되며, 건축물, 공공시설물, 인구분포, 대피소 등의 정보를 포함한다. 취약성과 손실 모듈은 각각 특정 강도의 재난에 대한 자산의 취약성과 직접적, 간접적 피해 규모를 평가하는 단계로, HAZUS-MH4는 Analysis 메뉴에서 취약성 정보를 손실함수로 표현하여 다루고 있으며, 직접적 및 간접적 경제 손실을 추정하기 위해 기업자산, 복구 시간, 소득손실자료 등의 인자를 고려하고 있다(유순영, 2011). 이와 같은 모듈로 구성된 재난모형은 과학적으로 발생 가능한 자연재해를 생성시키고, 자산 정보와 손실 함수에 근거하여 자연재해 피해액을 합리적으로 추정할 수 있다.

## 2.2 회귀모형을 통한 피해액 추정

회귀모형을 통한 자연재해 피해액에 영향을 미치는 요인을 도출하고 미래의 피해액을 추정하는 연구도 이루어지고 있다. Munich Re(1993)은 북부 및 서부 유럽 국가(오스트리아, 벨기에, 덴마크, 프랑스, 독일, 영국, 룩셈부르크, 스칸디나비아, 스위스, 네덜란드)에서 1990년에 발생한 8번의 폭풍우(storm)에 따른 피해액과 풍속 등 기후변수에 대한 회귀분석을 실시하였다. 그 결과, 62%의 설명력을 갖춘 회귀모형이 구축되었고, 1990년 이후 75년 동안 풍속이 선형적으로 증가한다는 가정 하에 총 피해액도 증가하는 것으로 나타났다.

Dornald et al.(1999)는 네덜란드를 대상으로 1987년부터 1992년까지의 폭풍우 피해액과 시간당 최대 풍속과 같은 기후변수와 가구당 소득, 주택 및 사업체 수와 같은 사회경제적 변수와의 회귀분석을 실시하였다. 2015년에 풍속의 강도가 2% 증가한다고 하였을 때, 폭풍우에 따른 피해액은 50%까지 증가할 수 있는 것으로 나타났다.

Pielke & Downton(2000)은 미국 전 지역을 대상으로 1932년부터 1997년까지의 홍수피해에 대하여 다중회귀분석을 통해 강수량, 강우강도와 같은 기후변수의 변화, 소득, 인구 등 인문사회적 변수의 영향을 실증적으로 분석하였다. 그 결과, 강수량이 홍수 피해액에 매우 유의미한 영향을 미치고 있으며, 더불어 인문사회적인 변수의 영향을 종합적으로 고려할 필요가 있음을 보여주었다.

Cavallo et al.(2010)은 2010년 1월에 발생한 아이티(Haiti) 대지진에 따른 직접적인 피해액을 회귀모형으로 추정하였다. 국제재난역학연구센터에서 제공하는 1970년부터 2008년까지 약 2,000개의 자연재해 자료를 수집하여 국내총생산, 인구 규모, 면적, 사상자 규모 등과의 선형관계를 나타내는 Log-Log 회귀모형을 구축하였다. 대지진이 발생한 후에 아이티의 경제 변수, 인구 변수, 사상자 변수 등에 모형에서 추정

한 계수를 대입하여 대지진에 따른 피해액을 추정할 수 있었다. 아이티 대지진으로 약 25만 명의 사상자가 발생한 것으로 추정되며, 그에 따른 총 피해액은 2009년 USD 기준으로 80억 달러(약 8조 원)로 추정되었다.

Muranae and Elsner(2012)는 미국을 대상으로 1900년대부터 2000년대까지의 허리케인 피해액과 풍속 자료를 바탕으로 분위회귀분석(quantile regression analysis)을 실시하였다. 그 결과, 풍속 1 m/sec 마다 5%의 피해액이 증가하는 것으로 나타났으며, 이러한 풍속과 피해액의 관계는 2011년에 있었던 허리케인 Irene 때 발생한 피해액을 비교적 정확히 예측할 수 있었다.

Mendelsohn and Saher(2011)은 국제재난역학연구센터에서 제공하는 전 세계 재해피해액 자료와 인구, 소득 자료 그리고 기상 관측자료(강수량, 기온 등)를 바탕으로 회귀모형을 구축하고, 기후모형과 국내총생산 성장률 및 인구성장률 적용을 통해 2100년 시점의 각 국가의 재해피해액(2010년 미국 달러화 기준)을 추정하였다.

Liu(2012)는 미국의 1993년부터 2009년까지의 호우 피해액과 극한 강도의 강우 유출량 등의 수문학적 변수, 1인당 소득, 인구, 기존 피해액의 빈도 등과 같은 사회경제적 변수로 구성된 패널데이터를 구축하였다. 이를 고정효과모형으로 분석하였고, 10%의 강우 유출량이 증가했을 때, 피해액은 1.7% 증가하는 것으로 나타났다.

국내에서는 국가 단위의 재난모형은 현재 없는 상태이며, 토목공학 분야에서 일부 유역을 대상으로 홍수피해액 산정을 위한 연구가 주를 이루고 있다. 홍수의 경우, 국내 하천설계기준은 다차원 홍수피해 산정 방법을 적용하여 하천치수경제를 조사하도록 되어 있으며 이에 지리정보시스템 기반의 홍수피해산정 기법이 연구된 바 있다(이충성 등, 2006). 또한 최현상 등(2005)이 ArcGIS 기반의 다차원 홍수피해산정 시스템을 제시한 바 있으나, 직접피해액 산정 기술 및 홍수 위험도 평가기술 등이 미흡하고 일부 유역에 한정되어 있어 국가 전체의 홍수피해액을 추정하지 못하는 문제점이 있다.

다만, 국립방재연구원에서 재해 피해손실 추정을 위하여 HAZUS-MH를 활용한 국내 재난손실모형 구축을 목표로 2013년에 연구가 착수되었으며, 5년에 걸쳐 위험지도 작성, 자산정보 구축, 피해손실함수 개선이 이루어질 예정이다(정태성, 2013). 따라서 2015년 현재 우리나라를 대상으로 재난모형을 이용하여 자연재해 피해액을 추정하는 것은 어려운 상황이다.

이와 같이 과학적으로 구축된 재난모형의 적용이 현 시점에서 여의치 않기 때문에



국토연구원(2005)에서는 과거의 자연재해 피해액 자료를 이용하여 홍수피해 발생빈도-피해액 관계를 중심으로 전국 및 지역별 홍수발생빈도에 따른 홍수피해액을 추정하였다. 구체적으로는 확률도시법에 의한 점빈도 분석방법을 이용하여 발생빈도-피해액 관계를 분석하였으며, 분석결과는 K-S검정방법을 이용하여 검정하였다. 그 결과, 최대 피해액은 9조 9,428억 원(2003년 기준 불변가격)으로 분석되었다. 국토연구원(2005)의 연구에서 자연재해 피해액을 홍수피해 발생빈도와 연계하여 피해액을 추정한 이유는 다음과 같다. 자연재해대책법에서는 재해를 크게 자연재해(태풍, 홍수, 호우, 폭설, 폭풍, 해일, 가뭄, 지진, 황사 등)와 인위재난(화재, 붕괴, 폭발, 교통사고, 화생방사고, 환경오염사고 등)으로 구분한다. 소방방재청에서 발간하는 재해연보에서는 태풍, 호우, 호우·태풍, 폭풍설, 폭풍, 폭풍우, 대설, 호우·폭풍, 해수범람에 의한 피해를 매년 발간하고 있는데, 최근 10년('94~'03) 동안 폭풍설, 폭풍, 폭풍우, 대설, 호우·폭풍, 해수범람에 의한 피해건수는 총 1,276건의 2.8%인 36건, 피해액으로는 17조 1,750억 원의 0.4%인 622억 원에 불과하다. 따라서 한국에서의 자연재해 피해액을 사실상 홍수피해액으로 보는 데 무리가 없을 것으로 판단된다.<sup>3)</sup>

장옥재와 김영오(2009)는 수문학에서 널리 활용되는 지역적 회귀분석을 적용해 각 지역별 홍수위험도를 평가하는 방법을 제안하였다. 지역적 회귀분석 절차는 먼저 과거홍수 피해 금액 자료가 충분한 지역의 홍수 피해금액과 시간강우량 자료를 이용해 비선형 회귀분석을 한 후, 추정된 계수를 해당지역의 인문사회 및 경제학적 인자들로 표현해 홍수피해영향을 정량화하여, 피해 자료가 불충분한 지역에서도 지역적 인자를 통해 홍수 피해금액을 추정할 수 있도록 홍수취약지도지수를 계산하는 방법을 연구하였다. 제안된 방법을 서울특별시 25개 자치구에 시범적으로 적용한 결과 강우의 지속시간이 19~24시간인 경우 마포구, 영등포구, 송파구, 강남구, 서초구가 홍수에 안전한 지역으로, 관악구가 가장 취약한 지역으로 분석되었다.

강범서(2013)는 금융기관의 운영리스크관리 기법 중 하나인 손실분포법을 이용해 자연재해로 인한 피해규모를 추정하였다. 사용한 자료는 1985년부터 2010년까지 국내에서 자연재해로 인해 발생한 피해액과 연간 피해발생 횟수로 소방방재청의 재해연

3) 소방방재청에서 제공하고 있는 재해피해액 자료에는 자연재해대책법에서 규정한 '태풍, 홍수, 호우, 폭설, 폭풍, 해일, 가뭄, 지진, 황사 등'으로 구분되어 제시되어 있지 않고, 대신 재해를 발생시킨 원인, 즉 태풍, 호우, 호우·태풍, 폭풍설, 폭풍, 폭풍우, 대설, 호우·폭풍, 해수범람으로 구분하여 기록하고 있다. 이중 비와 직접적으로 관련된 것은 태풍, 호우, 호우·폭풍우, 태풍이라고 할 수 있고, 그 외의 폭풍설, 폭풍우, 대설, 호우·폭풍, 해수범람은 바람 또는 눈 등과 관련이 있어 홍수가 아닌 다른 재해에 따른 피해액으로 구분하여 살펴본 것이다.

보를 통해 데이터를 수집하였다. 추정결과 99.9%에 해당하는 백분위수들의 평균값인 16조 3천억 원(2010년 기준 불변가격)을 최대 손실가능금액으로 제시하였다.

자연재해 피해액 추정에 대한 선행연구를 고찰한 결과, 자연재해에 따른 직접적인 피해액을 추정하는 방법에는 크게 재난모형의 활용과 회귀분석으로 나눌 수 있으며, 우리나라의 경우 재난모형 개발을 위한 초기단계에 있다. 구체적으로는 국내의 수문학, 지리학, 위험관리학회, 보험학회 등을 중심으로 여러 가지 분석방법론을 동원하여 자연재해의 직접피해액을 예측하려는 재난모형을 개발하고 있으나 아직은 미국의 HAZUS-MH처럼 실용화 단계에는 이르지 못한 상태이다. 이에 국내에서는 수문학, 토목공학 중심으로 회귀분석을 이용하여 자연재해에 따른 피해액을 추정하는 연구가 주를 이루고 있다. 그러나 과거 강수량 자료를 기반으로 기존의 강수특성을 그대로 적용하여 추정하였기 때문에 기후변화에 따른 최근의 강수특성의 변화를 반영하지 못하는 한계점을 갖고 있다. 따라서 태풍, 호우 등의 강도가 점점 강해지고, 그 발생빈도도 증가하고 있는 최근의 강수특성 변화를 반영하여 자연재해에 따른 직접피해액을 추정할 필요가 있다.

### 3. 자연재해의 경제적 파급효과 분석

자연재해가 경제에 미치는 영향이라는 주제는 최근 경제학 및 기타 사회과학 분야의 주요 연구주제로서 주목을 받고 있다. 여기에는 자연재해가 경제에 미치는 영향을 충분히 인식하는 작업과 자연재해로 인한 영향을 정확히 평가하는 과정이 포함된다. 이와 같이 자연재해의 경제적 영향을 파악하고 평가하려는 시도는 궁극적으로 자연재해 피해를 최소화하고 한정된 예산과 자원의 범위 내에서 효율적으로 대응하는데 기여할 수 있다.

#### 3.1 자연재해가 경제에 미치는 단기적 영향

자연재해의 단기적 영향을 다룬 주요 선행연구들부터 살펴보고자 한다. 자연재해의 국민경제적 영향에 대하여 실증적으로 분석한 최초의 시도는 Albala-Bertrand(1993)에 의해 이루어졌으며, 재해의 발생과 반응에 대한 회귀모형을 구축하고 재해에 관한 일련의 자료(1960년 ~ 1979년, 26개 국가에서 발생한 28개

의 재해)를 수집하였다. 재해 발생 전과 후에 대한 통계분석을 실시해 보니 국내총생산이 0.4% 증가한 것으로 나타났다.

신고전학파의 성장이론을 바탕으로 재해 발생 후의 경제성장률 관련 손실을 분석한 Caselli and Malhotra(2004)의 연구에서는 단기적으로 자연재해가 국가 경제에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이 연구는 1975년부터 1996년까지의 시간적 범위와 172개 국가를 표본으로 하고 있으며, 재해발생 후 노동력 및 자본의 손실이 단기 경제성장에 영향이 없다는 가설을 기각할 수 없다는 결론을 도출했다. 즉 부정적 영향이 없음을 보여준 것이다.

또한 미국을 대상으로 한 Strobl(2008)의 연구에서는 열대성 허리케인의 영향권에 포함되어 있는 미국 해안지역의 경제적 피해 여부를 분석하였다. 분석결과, 허리케인이 발생한 년도에는 지역 내 경제성장이 평균적으로 0.79% 감소하나, 바로 그 다음 해에 일부 회복되어 0.22% 정도 증가하는 것으로 나타났다. 피해의 규모가 작을 뿐만 아니라 단기간 내에 회복되고 있음을 보여주고 있는 것이다. 나아가 허리케인이 장기적으로 국가 차원의 경제성장률에 미치는 부정적 영향은 미미할 것임을 지적하고 있다. 이상의 결과들은 자연재해의 경제적 피해가 미미할 뿐 아니라 오히려 “창조적 파괴”를 통해 성장을 촉진할 수 있다는 역설적 가설을 지지하는 연구로 볼 수 있다.

그러나 또 다른 많은 연구들은 자연재해가 거시경제적으로 부정적인 영향을 미친다는 결과를 보여주고 있다(Crowards, 1999; Charveriat, 2000; Rasmussen, 2004; Hochrainer, 2009; Noy, 2009). Crowards(1999)는 캐리비안 지역의 1970년 ~ 1997년 기간 동안 발생한 22개의 허리케인이 경제적으로 미친 영향을 분석하였다. 연구결과, 재해가 발생한 년도의 실질 국내총생산 성장률이 약 3%로 감소하고, 다음 해에 약간 회복하는 모습을 보여주었다. 국내총생산에 자연재해가 미치는 영향을 좀 더 실증적으로 분석하기 위해 Charveriat(2000)은 1980년 ~ 1996년 기간 동안 라틴 아메리카와 캐리비안 국가에서 발생한 35개의 재해사례를 분석하였다. 연구결과, 실질 국내총생산이 약 2%로 감소한 것으로 나타났다.

이와 유사하게 Rasmussen(2004)도 1970-2002년 기간 동안 캐리비안 동부지역에 발생한 12개의 대규모 재해를 분석하여 재해발생년도에 국내총생산 성장률이 2.2%로 감소하는 결과를 얻었다. 캐리비안 지역에서 벗어나 세계은행에서 분류한 저소득 국가 40개를 대상으로 1965년 ~ 1997년 기간 동안의 재해가 경제에 미치는 영향을 Panel-VAR 모형을 이용하여 분석하였다. 분석결과, 국내총생산이 0.2% 감소하는 것

으로 나타났다.

이상의 연구들이 주로 개발도상국을 대상으로 한 것이라면, Horchrainer(2009)는 개발도상국과 선진국의 구분 없이 전 세계 자료를 바탕으로 자연재해의 경제적 영향을 분석하였다. 1960년 ~ 2005년 기간 동안 발생한 225개의 대규모 재해를 수집하고 재해발생 이후 실제로 관찰된 국내총생산과 재해발생이 없었다는 반사실적(counterfactual) 가설을 통한 국내총생산을 비교하는 방식으로 연구를 수행하였다. 그 결과 자연재해가 경제성장률을 평균적으로 1년 후에는 0.5% 감소, 5년 후에는 4%로 감소시킨 것으로 나타났다.

자연재해가 국가경제에 미치는 단기적 영향을 분석한 연구들을 볼 때 연구대상과 기간, 방법론에 따라 결과가 다르게 나타나고 있음을 알 수 있다. 그러나 선진국보다는 개도국에서 자연재해가 경제성장률에 미치는 부정적 영향이 상대적으로 크다는 지적은 가능할 것으로 보인다. 이는 Noy(2009)의 연구를 통해서도 잘 드러난다. Noy(2009)는 개발도상국가와 경제개발협력기구(Organization for Economic Co-operation and Development, 이하 'OECD') 국가에서 자연재해가 미치는 경제적 영향을 회귀분석을 통해 분석하였다. 그 결과 개발도상국의 경우 경제성장률이 9.7%로 감소하지만, OECD 국가의 경우에는 1.33% 증가하여 개발도상국과 선진국 사이의 차이가 확연히 존재함을 확인하였다. 또한 이 연구에서는 재해를 극복하고 회복하는 역량을 결정하는 사회경제적 요인으로, 소득수준, 인적자본, 금융발전정도, 경제개방도, 정부역할, 자본조달 능력을 제시하였다. 소득수준, 인적자본, 정부의 경제적 비중 및 무역개방도가 높을수록, 그리고 외환보유고가 많고 금융발전 수준이 높을수록 자연재해로부터 빠른 회복을 보이는 것으로 분석되었다.

이와 같이 자연재해로 인한 직접적인 피해의 규모와 내용은 각 국가마다 다르되, 대체로 선진국에서는 자연재해의 영향이 덜한 반면, 개발도상국은 상대적으로 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 자연재해는 물적 자본, 즉 운송수단이나 인프라를 훼손시켜 생산 활동에 피해를 주기 때문에 거시경제에 부정적 효과를 초래할 수 있다. 인프라 파괴 및 손실을 빠르게 극복하기 위해서는 추가적인 자본투자가 요구되는데, 이것이 여의치 않은 저소득 국가에서 자연재해가 경제에 미치는 부정적 영향이 더 클 것이라는 해석이 가능하다. 선진국과 개도국의 이러한 격차는 지역적으로 인접하여 자연재해의 빈도나 강도가 유사한 국가들 사이에서도 큰 차이가 있는 것으로 나타났다(Cavallo et al., 2010).

### 3.2 자연재해가 경제에 미치는 장기적 영향

자연재해가 국가경제에 미치는 장기적 영향에 대한 연구는 상대적으로 적고, 일관된 분석결과 역시 존재하지 않는다. 먼저 자연재해가 장기적으로 경제성장을 촉진한다는 대표적인 연구로서 Skidmore and Taya(2002)를 들 수 있다. 이들의 연구에 따르면 자연재해로 인한 피해로부터 경제가 회복하는 과정에서 인적자원의 질이 높아지고, 재해에 대응하기 위한 새로운 기술의 개발이나 도입을 통해 경제성장이 이루어진다는 것이다. 즉, 향상된 인적자원이 총요소생산성을 증가시켜 장기적으로는 경제성장을 유발한다고 주장하고 있다.

한편 Cavallo et al.(2010)의 연구에서는 자연재해가 발생한 경우와 재해가 발생하지 않은 경우의 경제성장률 추이를 비교해 보니 차이가 없었음을 밝히고 있다. 이들은 비교사례연구(comparative case study) 방법을 여러 국가에 적용하여 자연재해의 영향을 받지 않은 국가(통제집단)와 자연재해의 영향을 받은 국가(실험집단)로 구분하여 국내총생산의 차이를 비교하였다.

그러나 가장 최근의 연구인 Hsiang and Jina(2012)에서는 재해가 경제성장에 미치는 장기적 영향에 대해 매우 상반된 결과를 보여주고 있다. 이 연구에서는 1950년 ~ 2008년 기간 동안 전 세계에서 발생한 열대성 태풍이 각국의 경제성장률에 미친 누적 영향을 분석하였다. 그 결과 태풍이 경제에 미치는 부정적 영향은 해당 시점에서 최소 20년간 지속되며, 상위 90%에 해당하는 강도의 태풍이 발생할 경우 태풍이 없었을 것을 가정한 BAU(Business As Usual)와 비교해 볼 때 20년 후 평균적으로 1인당 국민소득을 7.4% 낮추는 것으로 나타났다. 특히 주목할 부분은 같은 기간 태풍으로 인한 한국의 누적 국내총생산 손실액이 1조 달러에 달하는 것으로 나타나 4조 5천억 달러에 이르는 일본, 1조 3천억 달러의 중국에 이어 현재 국내총생산 대비 피해액 규모가 전 세계 3위로 분석되었다. 자연재해의 피해가 누적적으로 경제에 부정적 영향을 유발하며, 그 중에서도 한국의 피해가 매우 크다는 사실을 시사해 주고 있다. 이렇듯 다양한 연구결과를 감안한다면 자연재해가 경제성장에 미치는 장기적인 영향에 대해서는 앞으로도 지속적인 연구가 필요하다고 할 것이다.

### 3.3 자연재해의 경제적 파급효과 분석을 위한 방법론

자연재해의 경제적 파급효과에 대한 연구는 사례분석과 같은 정성적 연구에서 시작하여, 회귀모형과 시계열분석, 그리고 연립방정식 모형을 이용하는 연구로 이어졌다

(Friesema et al., 1979; Chang, 1983; Guimaraes et al., 1993). 2000년대 들어와서는 산업연관모형, 연산일반균형모형이 자연재해가 경제에 미치는 간접적 영향을 추정하는데 활발하게 적용되고 있다.

### 3.3.1 산업연관모형을 이용한 분석

산업연관모형은 산업 간 투입-산출 행렬을 이용하여 하나의 경제시스템 내에서 이루어지는 산업 간의 상호작용을 설명할 수 있기 때문에, 중간재 수요에 변화를 적용하여 자연재해가 생산, 부가가치, 고용 등에 미치는 파급효과를 분석할 수 있다(Miller and Blair, 2009). 산업연관모형은 비교적 단순한 형태의 행렬을 이용하여 이해와 적용이 쉽고, 추정한 손실이 명확하기 때문에 1970년대부터 자연재해의 간접적 영향을 파악하는데 사용되기 시작하였다. 이후 지진, 홍수 등 다양한 자연재해의 경제적 파급효과를 분석하는 연구에 광범위하게 응용되고 있다(Haimes and Jiang, 2005; Hallegatte, 2008; Okuyama, 2014).

Haimes and Jiang(2005)는 산업연관모형의 개념을 확장하여 국가의 주요 기반시설이 자연재해로 인해 제대로 기능을 수행하지 못하는 운영불가능 위험(Inoperability risk)의 규모를 추정하고 분석하였다. Haimes and Jiang(2001)에서는 운영불가능 위험을 0과 1 사이의 값을 지니는 연속적 값으로 정의하고, 운영불가능 위험을 산출물(Output)로 간주하며, 이들 위험을 야기하는 요인들(사고, 자연재해, 테러 등)을 투입물(Input)로 해석하였다. 그리고 전통적 산업연관모형에서의 투입계수와 유사하게, 특정 위험요인들이 기반시설의 운영불가능 위험에 미치는 영향을 위험요인계수로서 정의하여 분석하였다.

Hallegatte(2008)은 허리케인 카트리나(Katrina)에 따른 경제적 손실을 파악하기 위해 지역산업연관분석을 적용하였고, 그 결과 1,490억 달러의 손실이 발생한 것으로 추정하였다. 특히, 경제시스템 내에서 전방 및 후방 연쇄 효과와 산업별 생산 용량을 고려하였고, 재해 이후 복구 활동이 이루어지는 점을 반영한 적응행동을 모형에 도입한 점에서 의의가 있다.

Okuyama(2014)는 산업연관표를 이용한 자연재해의 경제적 파급효과 분석에서 한 발 더 나아가 자연재해로 인한 경제의 구조적 변화를 분석하였다. 1995년 고베 대지진을 연구대상으로 하고, 구조분해분석을 통한 산업연관표의 시계열 자료를 통해 고베 지역의 경제적 구조 변화를 분석하였다. 그 결과 1990년부터 2000년까지 고베의

지역경제가 상당히 큰 경제구조의 변화를 겪은 것으로 확인하였으며, 산업연관분석도 자연재해의 장기적인 영향을 분석하는데 효과적인 도구가 될 수 있음을 실증적으로 보여주었다.

이와 같이 산업연관모형은 자연재해로 인한 간접적 피해를 추정하는 효과적인 도구지만, 몇 가지 단점이 있다. 첫째, 산업연관모형은 생산용량의 변화를 고려할 수 없으며, 공급부문에 미치는 영향을 평가할 수 없다. 둘째, 산업연관모형은 분석 대상 기간 동안 투입계수가 일정하다고 가정하며, 이는 곧 경제의 동태적인 변화를 반영하는데 제한적이기 때문에 경제적 파급효과 분석에 적용하는 것에 대한 회의적인 시각도 존재한다(Rose, 2004).

### 3.3.2 연산일반균형모형을 이용한 분석

연산일반균형모형은 연립방정식을 이용하여 다양한 경제변수들 사이의 관계를 표현하여 자연재해의 간접적 영향을 추정할 수 있다(Rose and Liao, 2005). 연산일반균형모형은 산업연관모형에 비해 상대가격 변화에 따른 요소 간의 대체, 국산품과 수입품 간의 대체, 국산품 간의 대체 등을 허용함으로써 실제 현실에서 발생하는 현상을 반영할 수 있는 등 현실적인 경제 상황, 예를 들면 자연재해 발생 이후의 경제회복 과정 등을 효과적으로 설명할 수 있다는 장점을 가지고 있다.<sup>4)</sup> 이러한 관점에서 홍수, 지진, 해수면 상승 등 다양한 자연재해를 대상으로 연산일반균형모형을 통한 경제적 파급효과 분석이 활발히 이루어지고 있다(Bosello et al., 2007; Simola et al., 2011; Wing et al., 2013).

Bosello et al.(2007)은 2050년에 예상되는 해수면 상승 규모가 경제에 미치는 파급효과를 연산일반균형모형을 이용하여 분석하였다. 특히, 해수면 상승에 대비하는 해안보호 정책의 여부에 따른 지역경제와 산업의 변화도 분석하였다. 그 결과, 기본시나리오에서 농업에 의존하는 정도가 높은 지역경제가 가장 크게 악영향을 받는 것으로 나타났으며, 보호 정책이 모두 적용된 시나리오에서는 국내총생산이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

---

4) 자연재해의 경제적 파급효과를 모형을 통해 분석하는 방법론상의 관점에서 볼 때 지진, 해일 등과 같이 예고 없이 발생하는 대단위 자연재해 상황에서 경제가 균형 상태를 유지한다고 가정하는 것이 적절한가에 대해 회의적인 시각이 있을 수 있다. 이와 같은 관점에서, 균형 상태를 전제로 모형 내에서 해를 구하는 연산일반균형모형보다는 이러한 제한적인 가정 없이도 자연재해의 경제적 파급효과 분석이 가능한 산업연관모형이 보다 적절하다는 주장 역시 존재한다.

Shibusawa and Miyata(2011)의 연구에서는 동태 연산일반균형모형을 적용하여, 일본의 Tokai 지역에서 가상의 지진을 발생시킨 후, 그에 따른 피해만큼 자본스톡을 감소시켜 지진이 동태적, 공간적으로 미치는 경제적 영향을 평가하였다. 이때 지진에 따른 경제적 피해 정도는 기존 선행연구의 결과를 적용하였으며, 지진이 발생하지 않은 경우(기준 시나리오), 지진이 사전에 예보된 경우와 그렇지 않은 경우의 세 시나리오를 비교하여 지진의 경제적 영향을 분석하였다.

핀란드에서는 10년, 50년, 100년, 250년 빈도의 홍수 발생 시 경제적 파급효과를 축차동태 연산일반균형모형을 적용하여 분석하였다(Simola et al., 2011). 2011년 을 기준으로 가상의 홍수를 발생시키고 2020년까지 재해에 따른 경제적 변화를 분석하였는데, 기존 연구에서 산출한 홍수 피해액만큼 자본스톡을 감소시키는 설정으로 모형을 구축하였다. 그 다음 재해피해를 복구하는 주체에 따른 세 가지 시나리오(산업계, 정부, 보험회사)를 적용하여 그 결과를 비교분석하였다. 또한 Wing et al.(2013)의 연구에서는 미국 캘리포니아 지역을 대상으로 USGS(미국지질조사국, U.S. Geological Survey)가 개발한 ARkStrom 시나리오에 따라 엄청난 폭우가 발생할 경우의 경제적 파급효과를 동태적 연산일반균형모형을 적용하여 분석하였다.<sup>5)</sup> 이 연구에서는 HAZUS-MH라는 재난 모형을 통해 재해피해액을 산출하고, 그 피해액 만큼 자본스톡이 감소되는 설정을 적용하였다.<sup>6)</sup>

이러한 자연재해 이외에도 원전사고, 테러와 같은 인적 및 사회적재난의 경제적 파급효과에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다. 대표적으로 Rose and Blomberg(2010)은 연산일반균형모형을 이용하여 미국의 911테러가 미친 경제적 영향을 분석하였다. 분석결과 911테러로 인한 미국경제의 손실은 미국 국내총생산의 1%에 해당하는 규모였으며, 뉴욕 지역경제에 미친 손실은 140억 달러로 다소 미미하였다. 또한 Giesecke et al.(2012)은 가상의 방사능 사고 시나리오를 바탕으로 사고 후 방사능에 대한 공포와 위기감으로 인한 경제주체들의 행동변화를 반영할 수 있는 연산일반균형모형을 구축하여 지역경제에 미치는 영향을 분석하였다.

국내에서도 제한적이지만 자연재해와 경제의 관계를 연구한 시도가 1990년대 이후

5) 'ARkStorm'은 성경에 등장하는 '노아의 방주'(Noah's Ark)와 폭우(Storm)의 합성어다. 한마디로 노아의 방주 사건에 버금가는 엄청난 양의 폭우, 폭풍이 캘리포니아를 비롯한 미 서부지역을 휩쓸 것이라는 예상이며, 500년에서 1000년에 한 번 발생하는 빈도의 재해로 간주되고 있다.

6) 미국 연방재난관리청의 주도하에 개발된 HAZUS는 미국에서 대규모로 자주 발생하는 지진, 홍수, 허리케인으로 인한 재산 손실을 평가하고 인명 피해를 예측하는데 사용될 수 있는 재난모형이다.



로 계속되고 있다(엄원근 등 1995; 정근채, 2008; 환경부, 2009; 류문현 등, 2012). 해외 연구의 흐름과 유사하게 초기에는 회귀모형을 중심으로 피해액을 추정하는 연구에서 점차 대단위 모형을 활용하여 국민경제 전반에 미치는 영향을 분석하는 방향으로 진행되고 있다. 가장 최근에 수행된 류문현 등(2012)은 일국 다부문 연산일반균형모형을 활용하여 자연재해의 경제적 파급효과를 분석하였고, 자연재해로 인해 국내총생산이 약 5%라는 매우 큰 규모로 감소한다는 결론을 도출하였다. 그러나 단순화된 부문이 많아 산업별 파급효과를 분석하지 못하고, 단기적인 자본량의 변화를 가정한 정태적 분석이 자연재해 이후 자본량 회복, 경제구조의 변화 등을 반영하지 못했다는 문제점을 지적할 수 있다.

자연재해의 간접적 영향을 파악하기 위해 많은 연구에서 활용되고 있는 연산일반균형모형도 한계를 가지고 있다. 가장 대표적인 단점은 모형이 경제 내의 모든 의사결정자들이 최적화를 목표로 행동하며 또 경제가 항상 균형 상태에 있다고 가정하는데 있다(Okuyama, 2008). 또한 확실한 표준이 될 만한 함수관계라는 것이 없고 지나치게 유연하다보니 경제적 파급효과를 과소 추정하며 그로 인해 재해손실도 과소평가하는 경향이 있다(Boisvert, 1992; Rose and Guha, 2004).

본 연구는 우리나라의 자연재해 관리 정책 현황 등을 고려했을 때, 국가단위보다는 지역단위의 분석이 필요하다고 판단하였으며, 모형의 이론적 특징과 자료의 활용가능성 등을 고려하여 연산일반균형모형을 적용하고자 한다. 지금까지 살펴본 연구방법론들은 단일지역 모형에 대한 것이었고, 다지역 연산일반균형모형을 이용한 선행연구들을 검토하기로 한다.

### 3.3.3 다지역 연산일반균형모형을 이용한 분석

국내에서는 주로 지역경제, 지역개발 및 정책 분야에서 다지역 연산일반균형모형을 활발히 다루고 있다(지해명, 2003; 김영덕, 조경엽, 2006, 김의준 등, 2006).

지해명(2003)에서는 직접세와 간접세의 지역경제 성장효과를 추정하는데 다지역 연산일반균형모형을 이용하였다. 분석결과, 소득세와 법인세 인하는 수요측면에는 효과적인 정책수단으로 평가되지만 지역의 생산기반의 확충에는 기여하는 바가 작은 것으로 나타났다.

김영덕, 조경엽(2006)은 중앙정부와 지방정부로 구분하여 다지역 동태 연산일반균형모형을 구축하고, 이를 통해 공공기관의 지방이전 효과를 추정하였다. 모형의 목표

시점은 2021년이며, 2000년을 시작으로 3년 단위로 분석하는 방식이 적용되었다. 분석결과, 수도권지역 소재 공공기관이 지방으로 이전할 경우, 국내총생산은 연평균 최대 3조 2,406억 원 감소할 것으로 전망하였다.

김의준 등(2006)은 7개 권역-7개 산업의 다지역 다부문 연산일반균형모형을 개발하여 도로 및 철도사업이 중장기적으로 지역경제에 미치는 효과를 분석하였다. 적용된 사업은 전주-대구-부산 고속도로, 서울-춘천 고속도로, 경북고속철도, 호남고속철도 등이며, 이러한 사업으로 인해 수도권 인구 비중과 주요 지역의 지역내총생산의 변화를 추정하였다. 그 결과, 국내총생산은 매년 4,410억 원(9년차) ~ 4조 8660억 원(1년차)이 추가적으로 늘어나면서 소비자물가 수준은 점차 감소하는 것으로 나타났다.

다지역 연산일반균형모형을 활용한 국내 연구를 정리하자면 모형의 구조는 신고전주의 완결규칙을 따르고 있으며, 분석대상과 분석기간을 고려하여 다양한 모형 구조가 적용되고 있고 미래시점의 변화를 추정하기 위한 동태모형도 활발히 적용되고 있다. 그러나 자연재해의 경제적 파급효과 분석을 위해 적용된 예는 없으며, 본 연구가 최초의 시도가 될 것이다. 다만, 본 연구의 다지역 연산일반균형모형은 비교적 단순한 형태의 정태 모형이다.

#### 4. 선행연구와의 차별성

선행연구들을 고찰한 결과, 자연재해 피해를 결정하는 요인으로 강수, 강설 등 기후 요인과 더불어 인간의 활동과 관련된 사회경제적 요인, 도시화 요인, 정책적 요인 등이 거론되고 있다. 다만, 국내에서는 자연재해 피해 결정요인에 대한 연구가 많지 않으며, 분석대상도 경기도와 강원도로 한정되어 있다. 그 결과 우리나라의 자연재해 피해를 결정하는 특징적인 요인이 무엇인지 결론짓기 힘들며 정책적인 시사점도 다소 부족한 상황이다.

자연재해 피해액을 추정하는 연구에서는 재난모형이 중요한 역할을 하고 있으나 모든 국가와 지역에서 활용할 수 있는 상황은 아니기 때문에 차선택으로 회귀분석을 활용하고 있다. 국내에서는 토목공학 분야에서의 점빈도분석법의 적용과 사회과학 분야에서의 손실분포법 적용을 통한 자연재해 피해액 추정이 시도되었다. 그러나 자연

재해 피해액의 최대가능금액의 규모는 추정하였으나 과거 자연재해 피해액의 범위에서 크게 벗어나지 않으며, 기후변화, 기후변동에 따른 강수량, 강우강도의 변화 등을 고려하지 않아 기후변화 대응차원에서 정책적 시사점을 제공하기 어렵다.

그리고 자연재해 피해액의 경제적 파급효과를 분석하는 연구에서는 산업연관모형, 연산일반균형 등 계량경제모형이 활발하게 적용되고 있으며, 국내에서도 정태 연산일반균형모형을 통해 국가단위의 경제적 파급효과를 분석한 연구가 존재한다. 그러나 국외연구들은 국가단위에서 지역단위로 연구대상을 더욱 세분화하여 파급효과를 분석하고 있으며 고정된 한 시점에만 국한하지 않고 장기적인 시점까지 확대하고 있다.

따라서 국내에서는 우선 자연재해 피해에 영향을 주는 요인이 무엇인지 파악하여 매년 반복되고 있는 자연재해 피해를 최소화할 수 있는 정책적 방향을 모색할 필요가 있다. 그리고 기후변화 적응 관점에서 강수특성의 변화 등을 고려하여 향후 발생 가능한 자연재해 피해액을 추정하고 국가단위를 더 세분화하여 지역단위의 파급효과를 분석하는 연구가 필요한 것이다. 다만, 2015년 3월 현재 국내에서 활용할 수 있는 전국 단위의 재난모형이 구축되어 있지 않아 본 연구에서도 차선택으로 회귀분석을 활용한다. 그리고 자연재해의 경제적 파급효과를 분석하기 위해 국가단위가 아닌 지역단위로 세분화한 다지역 정태 연산일반균형모형을 적용한다. 결과적으로 본 연구는 국내 선행연구들과 다음 세 가지 측면에서 차별된다.

첫째, 일부지역이 아닌 국가 전체를 대상으로 하여 자연재해 피해의 결정요인을 분석한다. 결정요인에 대한 소수의 국내연구가 일부 지역에 국한되어 있고, 분석한 요인의 범위도 국외 선행연구들과 비교했을 때 제한적이어서 정책적으로 시사하는 바가 크지 않다. 반면, 본 연구는 일부 통폐합되거나 신설된 기초자치단체를 제외한 227개 시군구로 분석대상을 확대하고, 사회경제적 요인, 도시화 요인, 정책적 요인, 기후요인과 자연재해 피해와의 관계를 고찰하는 점에서 기존 국내 선행연구와 차별된다. 이를 통해 본 연구는 우리나라의 자연재해 피해 규모에 중요한 영향을 미치는 요인을 도출하고 자연재해 관리 정책의 방향을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

둘째, 강수의 통계적 특성 변화를 반영하여 예측한 미래시점의 강수량 자료를 적용하여 자연재해의 직접피해액을 추정한다. 지금까지 자연재해 피해액 추정에 대한 국내 선행연구들은 과거 관측자료의 통계적 분포의 특성을 그대로 적용하였기 때문에 최근 이상기후로 인한 강수량 및 강수강도의 변화를 제대로 반영하지 못하는 한계가 있다. 반면, 본 연구는 과거 강수량 자료를 분석하여 통계적 특성의 변화를 확인하고

그러한 변화를 반영하여 예측한 강수량 자료를 적용하는 점에서 차별된다. 이러한 시도는 자연과학 분야의 연구결과를 사회과학 분야의 문제를 해결하는데 활용하고 기후변화에 보다 효과적으로 적응할 수 있는 정책 마련과 학제간 연구 확대에도 기여할 수 있다.

셋째, 기후변화의 영향이 반영된 직접피해액을 다지역 정태 연산일반균형모형에 적용한다. 본 연구에서 구축하는 다지역 연산일반균형모형은 16개 시도를 6개 권역으로 나누고 9개 산업을 가진 모형이며, 2005년을 기준년도로 한다. 자연재해의 어떤 특징을 반영한 새로운 함수 등이 추가된 새로운 모형이 아닌 표준적인 다지역 모형이다. 그럼에도 본 연구가 의미를 가질 수 있는 이유는, 국가를 대상으로 분석한 기존의 국내 선행연구들과 다르게, 지역을 대상으로 하기 때문에 자연재해 피해를 겪고 복구를 수행하는 실질적 주체인 지방정부에 정책적 시사점을 제공할 수 있기 때문이다. 이와 더불어, 국내 선행연구들이 자연재해의 파급효과 분석 시 자본스톡이 감소하는 규모로 과거 자연재해 피해액 중 최대값, 평균값 등을 적용하였는데, 이는 기후변화 적응 관점에서 변화가 필요한 자연재해 관리 정책의 방향에 의미 있는 시사점을 제공하기 힘들다. 반면, 본 연구는 앞서 설명한 대로 강수 특성의 변화가 반영된 예측자료로 추정된 직접피해액을 다지역 연산일반균형모형에 적용하기 때문에 기후변화 적응 관점 및 지역단위의 자연재해 관리 정책에 기여할 수 있다.

## 제 3 장 자연재해 피해의 결정요인 고찰

### 제 1 절 가설 설정

자연재해에 영향을 미치는 결정요인을 파악하기 위해 기후변화와 자연재해의 관계, 도시화, 사회경제적 요인 등과 자연재해 피해의 관계에 대한 선행연구의 결과들을 고려하여 가설을 설정하였다.

#### 가설1. 자연재해와 기후 요인

첫 번째 가설은 자연재해 피해를 결정하는 요인으로 기후 요인이 가장 크게 영향을 미치는가에 대한 것이다. 기후 요인 이외에 사회경제적 요인, 도시화 요인 등이 자연재해에 영향을 준다는 것을 보여준 선행연구들이 많이 있지만, 자연재해는 우선적으로 자연현상, 기상현상에 가장 큰 영향을 받을 수밖에 없다. 게다가 기후변화와 기후변동으로 인해 기온, 강수, 풍속 등의 기상 현상이 과거의 경험치를 넘어서는 이상기후로 이어지면서, 기후 요인이 자연재해 피해에 미치는 영향력은 더 증가할 것이라는 것이 첫 번째 가설의 논점이다.

이 가설을 검증하기 위해 본 연구에서는 자연재해 피해에 영향을 주는 기후 요인으로 강도 측면과 강우 규모 측면으로 살펴보기로 한다. 즉 단시간에 집중적으로 내리는 강우강도와 전체 기간 동안 많은 양이 내리는 강우 규모 중에 어느 것이 자연재해 피해에 더 크게 영향을 미치는지 분석한다. 이를 위해 본 연구에서는 강우강도를 나타내는 변수로 일 최대 강수량, 일 강수량 80 mm 이상인 날의 수, 강우 규모를 나타내는 변수로 연 강수량을 검토하였다.

#### 가설 2. 자연재해와 사회경제적 요인

두 번째 가설은 자연재해 피해를 결정하는 요인으로 사회경제적인 특징이 자연재해 피해 규모에 차이를 가져오는가에 대한 것이다. 자연재해에 영향을 미치는 사회경제적 특징을 인구, 소득 또는 부(wealth)의 수준 등으로 살펴본 선행연구들이 많지만, 그 결과에 대한 해석은 두 가지 가능성을 보여주고 있다. 소득 또는 부의 수준이 높을수록 소유한 자산의 가치가 높아 동일한 강도의 자연재해에도 더 큰 피해액을 가진

다는 해석이 있는 반면, 자연재해 예방 및 대응을 위한 사회간접자본시설, 인력, 투자 환경이 잘 갖추어져 있어 자연재해 피해액이 적다는 결과도 존재한다. 전자의 해석은 소득수준은 높으나 자연재해에 대응하기 위한 개인 또는 정부의 노력이 부족한 사회이며, 후자는 소득수준에 비례하여 자연재해 피해 규모를 줄이기 위한 개인 또는 정부의 노력이 효과적으로 이루어진 것으로 볼 수 있다.

선행연구들은 주로 개인의 소득 수준과 자연재해 피해와의 관계를 살펴보았는데, 본 연구는 소득 또는 부의 수준을 개인과 지방정부로 구분하여 살펴보고자 한다. 일반적으로 지방정부가 자연재해 예방과 복구를 담당하고 있지만, 상습적인 자연재해로 피해를 입은 개인이라면 지방정부에만 의존하지 않고 독자적으로 대응을 할 것이며, 개인의 소득에 따라 자연재해에 대응하려는 노력도 다를 것으로 보인다.

이와 더불어, 지방정부의 재정수준도 자연재해 피해 규모에 영향을 줄 수 있는 중요한 요인이 될 수 있다. 일반적으로 대규모 자연재해 발생시, 중앙정부에서 ‘특별재난지역’ 선포 및 긴급예산 지원 등을 발표하지만, 자연재해에 실제로 대응하는 주체는 결국 지방정부이며, 그것이 실제 지역의 복구 및 지원 활동으로 이어지기까지는 상당한 시간이 걸린다.<sup>7)</sup> 자연재해 피해 규모는 얼마나 신속하게 대응하느냐, 시간차에 따라서도 달라질 수 있기 때문에 중앙정부의 지원이 이루어지기 전에 지방정부가 신속하게 대응한다면 피해 규모는 달라질 수 있다. 결국 지방정부의 대응능력은 재정적인 부분과 연결될 수밖에 없는데, 재정적으로 안정된 지방정부는 자연재해 발생 후 상대적으로 복구를 위한 시설, 인적 자원을 투입하는데 유리하며 이는 결과적으로 피해 규모를 줄일 수 있을 것이다.

예를 들면, 지역 전체의 소득수준은 낮다고 하더라도 그 지역의 일부 소득이 높은 개인은 장마철 홍수를 대비하여 배수펌프를 구매하는 등의 노력을 기울일 수 있으며, 반대로 개개인의 소득은 낮더라도 지방정부가 재정상황이 양호하면 모래주머니 배포, 저류조 설치 등의 사업을 할 수 있다. 즉 개인의 소득수준과 지방정부의 재정수준에

---

7) 국내 재난관리조직은 중앙안전관리위원회를 두어 「재난 및 안전관리 기본법」을 근거하여 국무총리를 위원장으로 하고 간사는 국민안전처 장관이 맡고 있다. 또한 중앙재난안전대책본부, 중앙사고수습본부, 중앙긴급구조통제단 등을 두고 기능별 역할을 수행하며, 자연재해가 발생되었을 시 중앙재난안전대책본부의 통제 하에 지방자치단체의 재난안전대책본부에서 신속한 대응 및 복구 작업이 이루어지게 된다. 또한 「자연재해대책법」 제3조에 따라 재난관리책임기관의 장(시장, 군수, 구청장)은 자연재해 예방을 위하여 ① 자연재해 경감 협의 및 자연재해위험개선지구 정비, ② 풍수해 예방 및 대비, ③ 설해(雪害) 대책, ④ 낙뢰대책, ⑤ 가뭄대책, ⑥ 재해정보 및 긴급지원, ⑦ 그 밖에 자연재해 예방을 위하여 재난관리책임기관의 장이 필요하다고 인정하는 사항에 해당하는 조치를 하여야 한다.

따라 지역의 자연재해 피해액 규모가 달라질 수 있다는 것이 두 번째 가설의 논점이다.

본 연구에서는 자연재해 피해 규모에 영향을 미치는 사회경제적 요인으로 개인의 소득수준과 지방정부의 재정수준을 중점적으로 살펴보기로 한다. 개인의 소득수준을 나타내는 변수로 1인당 주민세액, 1인당 지역내총생산, 그리고 지방정부의 재정수준을 나타내는 변수로 재정자립도 등을 검토하였다.

### 가설 3. 자연재해와 도시화 요인

세 번째 가설은 도시화 과정에서 나타난 토지이용의 변화가 자연재해 피해에 영향을 미치는가에 대한 것이다. 도시 개발로 불투수면 면적이 증가함에 따라 동일한 규모의 강우량에도 침투유량이 증가하여 자연재해 피해를 증가시킬 것이라는 것이 세 번째 가설의 논점이다.

인구밀도와 소득수준이 유사한 도시화된 지역 사이에서도 자연재해에 대한 취약성 정도는 차이가 있을 수 있다. 토지이용계획 및 관리 정책에 따라 불투수면 면적을 최소화하고 일정 규모 이상의 투수층을 확보하고 있는 도시에서는 동일한 강도의 자연재해에도 그 피해규모는 더 적을 수 있다. 반면, 불투수면에 대한 적절한 관리와 투수층 확보가 미흡한 도시지역은 상대적으로 자연재해에 더 취약한 상태로 피해규모도 더 클 수밖에 없을 것이다.

이를 실증적으로 분석하여 불투수면 면적이 자연재해 피해 규모를 증가시키는 것을 보여준다면, 자연재해 예방 및 관리 정책에서 도시계획의 중요성을 확인할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 자연재해 피해 규모를 결정하는 도시화 변수로 불투수면 면적, 도시화율 등을 검토하였다.

### 가설 4. 자연재해와 정책적 요인

네 번째 가설은 정부의 자연재해 관리 정책에 따라 자연재해 피해 규모가 달라질 수 있는가에 대한 것이다. 동일한 강도의 자연재해에 정부가 제방, 배수, 예경보시스템 등 자연재해 예방을 위한 투자에 효율적으로 예산을 투입하였다면 그렇지 않은 지역보다 피해규모가 작을 수 있다는 것이 네 번째 가설의 논점이다.

우리나라의 자연재해 관리 정책이 사후복구 중심으로 이루어지고 있고, 기후변화로 인해 강수의 특성에 대한 불확실성이 증가하는 상황에서 자연재해 예방 정책이 자

자연재해 피해액에 어떠한 영향을 미치는지 살펴볼 필요가 있다. 다만, 앞서 언급한대로 사후복구 중심으로 예산이 투입되기 때문에 지방정부의 자연재해 예방을 위한 노력이 자연재해 피해액에 영향을 줄 수 있는 만큼 충분한 규모로 이루어지고 있는지는 미지수이다. 그럼에도 불구하고, 자연재해 예방 정책과 자연재해 피해액과의 관계를 살펴봄으로써 정부의 자연재해 관리 정책의 현주소를 간접적으로 파악할 수 있을 것이다.

이 가설을 검증하기 위해서는 지방정부가 자연재해 예방을 위해 실행한 사업의 결과, 예를 들면, 제방의 길이 또는 면적, 배수시설의 용량 등으로 살펴볼 수 있다. 아니면 자연재해 예방과 관련되어 있는 사업에 투입한 예산의 규모로 지방정부의 재해 예방 노력을 파악하는 것도 가능하다. 본 연구에서는 지역단위로 제방과 배수시설에 대한 자료를 확보하는 것이 어려워 정책적 요인으로 지방정부의 재해 예방 관련 활동에 투입된 예산을 검토하였다.



## 제 2 절 가설 검증을 위한 모형 설정

앞 절에서 설정한 자연재해 피해규모를 결정하는 요인에 대한 네 가지 가설을 검증하기 위해 본 연구에서는 패널모형을 적용하였다. 본 절에서는 자연재해 피해의 결정요인을 고찰하는데 패널데이터와 패널모형이 갖는 장점을 살펴본다.

### 1. 패널데이터의 특징

패널데이터는 어떤 특정 개체(예: 개인, 기업, 지역, 국가 등)의 현상이나 특성을 시간 순으로 기록해 놓은 시계열데이터와 특정시점(예: 2015년)에 있어서 여러 개체(예: 227개 시군구, 16개 시도)의 현상이나 특성을 모아놓은 횡단면데이터를 하나로 합쳐 놓은 것이다(민인식, 최필선, 2009). 이와 같이 횡단면 정보와 시계열 정보를 동시에 이용할 수 있기 때문에 패널데이터는 데이터 유형 중에서도 가장 많은 정보를 제공할 수 있는 유용한 데이터이다(Baltagi et al., 2003).

패널데이터가 실증분석에 효과적으로 활용되고 있는 이유는 다음과 같은 장점을 갖고 있기 때문이다. 첫째, 패널데이터는 개체를 반복하여 관찰하기 때문에 동적(dynamic) 관계를 추정할 수 있다. 횡단면 자료가 정적(static)인 관계만을 추정하여 다양한 변화를 포착하기 힘든 것과 대조적이다. 특히 충분한 시간범위를 가진 패널데이터를 구축할 경우, 독립변수와 종속변수의 관계와 그 영향력을 실증적으로 분석할 수 있다. 둘째, 패널데이터는 횡단면 또는 시계열 자료와 비교했을 때, 더 많은 정보와 변수의 변동성(variability)을 제공하며, 선형회귀모형의 다중공선성(multicollinearity) 문제도 완화시킬 수 있다. 셋째, 패널데이터는 패널개체가 갖는 특이성(heterogeneity)을 개체특성(individual effect)과 시간특성(time effect)으로 구분하여 통제할 수 있다. 이러한 특성을 통제하지 못하면 횡단면 분석과 시계열 분석은 효율적인 추정량을 얻을 수 없으나, 패널데이터를 활용한 분석은 왜곡되지 않은 추정량을 얻을 수 있는 장점이 있다(Hsiao, 1985).

하지만 패널데이터를 활용한 분석은 몇 가지 단점도 가지고 있다. 첫째, 데이터를 수집하는 것이 쉽지 않다. 특정 개체를 시간의 흐름에 따라 반복적으로 조사하는 경우 결측치가 발생할 가능성이 크다. 이러한 결측치로 인해 추정량의 비효율성

(Inefficiency)이 생길 수 있으며, 추정해야 할 모수의 식별(Identification)에 문제가 생길 수 있다. 이러한 단점은 설문조사로 구축된 패널에 해당하는 문제로, 본 연구의 경우 설문조사 방식이 아닌 정부의 통계자료를 활용하기 때문에 이와 같은 문제는 없는 것으로 판단된다. 둘째, 국가나 지역을 패널 그룹으로 설정하여 조사한 데이터의 경우에는 패널 그룹 간 상관관계(Group-wise correlation)가 존재할 수 있다. 따라서 이러한 그룹 간 상관관계를 모형 추정에서 고려해야만 올바른 추론 결과를 얻을 수 있다(민인식, 최필선, 2009). 본 연구에서는 이와 같은 상관관계 문제를 가설검정을 통해 확인하고, 상관관계가 존재여부를 고려하여 패널모형을 추정한다.

## 2. 패널모형의 유형 및 검토

횡단면 분석과 시계열 분석과 달리, 통제할 수 없는 관찰되지 않은 변수를 고려할 수 있고 패널데이터가 갖는 다양한 정보를 효과적으로 활용할 수 있는 패널모형은 사회과학 및 계량경제학 분야의 연구에서 가장 선호하는 분석방법이라 할 수 있다.

자연재해 피해 규모를 결정하는 요인을 고찰하고자 하는 본 연구도 통제하기 힘든 다양한 변수들이 존재한다. 왜냐하면, 자연재해가 일어나고 피해로 이어지는 과정은 상당히 복잡하고 지역별, 시기별로 다양한 원인이 존재하기 때문이다. 이러한 원인을 모두 변수로 포함시켜 분석하는 것은 거의 불가능하며, 통제하지 못한 다양한 변수들을 통계적으로 반영할 수 있는 모형이 필요한 것이다. Pielke & Downton(2000)은 자연재해의 경우 지역별 특징과 정책에 따라 매우 복잡한 과정으로 발생하기 때문에 한정된 독립변수를 활용하여 자연재해 피해의 모든 것을 설명하지 못한다고 지적하였는데 본 연구에서 패널모형을 사용하는 가장 큰 이유가 여기에 있다. 따라서 패널모형은 자연재해 결정요인을 실증적으로 고찰하고 분석하는데 가장 적합하다고 할 수 있다.

합동OLS(ordinary least squares)와 패널GLS(generalized least squares), 고정효과 및 확률효과 모형은 패널데이터의 선형회귀모형을 추정할 때에 일반적으로 가장 많이 사용되는 방식이다.

## 2.1 패널모형의 유형

### 2.1.1 합동OLS와 패널GLS

합동OLS 분석은 데이터가 패널 구조라는 사실을 무시하고 오차항에 대한 동분산성을 가정하며 패널개체 간의 동시적 상관과 동일 그룹 내 다른 시점간의 자기상관관계가 존재하지 않음을 전제로 추정한다. 이러한 합동OLS 모형은 다음과 같다.

$$y_{it} = \alpha + \beta x_{it} + e_{it}$$

$$i = 1, 2, \dots, n \text{ 및 } t = 1, 2, \dots, T$$

$$\text{전체 관측치}(N) = n \times T (\text{균형패널})$$

합동OLS 모형에 의한 분석결과를 사실로 받아들이기 위한 전제 조건이 있다. 다음의 가정이 성립해야 한다는 것이다(민인식, 최필선, 2009).

(가정 1)  $E(\epsilon_{it}) = 0$ , 모든  $i$  및  $t$ 에 대해

(가정 2)  $\text{var}(\epsilon_{it}) = \sigma^2$ , 모든  $i$  및  $t$ 에 대해

(가정 3)  $\text{cov}(\epsilon_{it}, \epsilon_{js}) = 0$ , 모든  $i \neq j$  및  $t \neq s$ 에 대해

(가정 4)  $\text{cov}(x_{it}, \epsilon_{it}) = 0$ , 모든  $i$  및  $t$ 에 대해

가정 1과 2에 의하면 모든 오차항의 기댓값은 0이어야하고, 분산은  $\sigma^2$ 이어야 한다. 후자는 동분산성(homoskedasticity)을 말한다. 가정 3은 한 지역 내의 다른 시점 간 오차항 또는 지역과 지역 간의 오차항에 상관관계가 없어야 한다는 것이다. 가정 4는 설명변수와 오차항간에 상관관계가 없어야 한다는 것이다. 이것은 설명변수가 외생적이어야 한다는 것을 의미한다.

합동OLS 모형이 앞서 언급한 네 가지 가정을 모두 만족하는 경우는 매우 드물며, 동분산성 가정을 만족시키지 못하는 경우에는 이분산성(heteroskedastic)을 가정한 상태에서 추정하는 패널GLS 방법을 사용할 수 있다. 또한 패널데이터의 오차항에는 자기상관(다른 시점의 오차항과 상관관계 존재)이 있을 가능성이 있다. 합동OLS 모형의 자기상관 검정 결과 자기상관이 존재하는 경우에도 이를 고려하는 패널GLS로 추정해야 한다.

합동 OLS와 패널 GLS 추정에서는 상수항  $\alpha$ 와 설명변수의 계수  $\beta$ 가 모든 지역에 대해 동일한 것으로 가정하는 점은 같지만, 패널GLS는 오차항의 이분산성과 자기상관관계를 존재하는 경우를 가정하여 효율적인 추정량을 구하는 GLS(generalized least squares) 방법을 적용하는 점에서 다르다. 패널GLS방법은 모든 시점에서의 오차항 분산이 지역 간에 다르다고 가정한다.

### 2.1.2 고정효과 및 확률효과 모형

합동OLS와 패널GLS 추정에서는 상수항  $\alpha$ 와 독립변수의 계수  $\beta$ 가 모든 지역에서 동일한 것으로 가정하는 분석이다. 이와 달리, 각 지역의 개별적인 특성을 나타내는 오차항  $u_i$ 를 정의하고 분석을 시도하는 것이 고정효과 모형과 확률효과 모형이다.<sup>8)</sup> 이와 같은 고정 및 확률효과 모형은 독립변수의 계수  $\beta$ 가 모든 지역에서 동일한 것으로 가정하지만 상수항  $(\alpha + u_i)$ 는 지역별로 달라진다.

$$y_{it} = (\alpha + u_i) + \beta X + e_{it}$$

고정효과 모형은 오차항  $u_i$ 를 추정해야할 모수(parameter)로 간주하고 분석한다. 즉, 독립변수의  $\beta$ 는 모든 지역에서 동일하지만, 상수항은 지역별로 다르면서 고정되어 있다고 가정한다. 반면, 확률효과 모형은 오차항  $u_i$ 를 확률변수(random variable)로 가정하여 분석한다.

### 2.1.3 일원 및 이원오차성분 모형

고정효과와 확률효과 모형은 오차항 고려방식에 따라 일원오차성분모형(one-way error component regression model)과 이원오차성분모형(two-way component regression model)로 구분한다. 결과적으로 패널데이터 분석모형은 <표 3.2.1>과 같이 총 네 가지로 구분할 수 있다. 일원오차성분모형과 이원오차성분모형을 구분하는 기준은 패널 개체별 특성효과(본 연구의 경우, 지역별로 갖는 특성)만을 살펴보는가 아니면 시간특성효과를 동시에 고려하는가에 있다.

---

8) 오차항이  $u_i$ 와  $e_{it}$  2개로 구성되어 있는데,  $u_i$ 는 시간에 따라 변하지 않는 패널의 개체특성을 나타낸다. 반면  $e_{it}$ 는 시간과 패널 개체에 따라 변화는 순수한 오차항이다.

<표 3.2.1> 패널데이터 분석모형의 구분

	고정효과 모형	확률효과 모형
일원오차성분모형	패널 개체별 특성 고정	패널 개체별 특성 변화
이원오차성분모형	패널 개체별 특성과 시간 특성 모두 고정	패널 개체별 특성과 시간 특성 모두 변화

일원오차성분모형은 시간의 흐름에 따라 변하지 않는 관찰되지 않은 특정한 변수가 개체마다 잠재되어 있다는 가정을 하는 고정효과 모형과 시간에 따라 변한다는 가정을 하는 확률효과로 나뉜다.

반면, 이원오차성분모형은 시간의 흐름에 따라 변하지 않는 관찰되지 않은 특정한 변수가 개체마다 잠재되어 있고 시계열별로도 독특한 특성이 매 기간에 잠재해 있음을 가정하는 고정효과 모형, 그리고 패널 개체의 특성과 시계열 특성 모두 고정되어 있지 않고 확률적으로 변화한다고 가정하는 확률효과 모형으로 나뉜다.

이와 같이 패널모형은 크게 네 가지 형태로 구분할 수 있으며, 어떤 유형의 패널모형을 따를지 결정해야한다. 가장 합리적인 방법은 시간의 흐름에 따라 변화지 않는 패널 개체별 특성이 독립변수들과 관련이 되어 있는지를 검토하는 것이다. 관련이 있다고 판단되면 고정효과 모형을 선택하고, 관련이 없다고 판단되면 확률효과 모형을 선택하게 된다(Johnston, 1997).

고정효과와 확률효과 모형 모두 완벽한 모형은 되지 못한다(Johnston, 1997). 따라서 두 모형이 갖는 장단점을 비교하며 합리적으로 선택하는 것이 필요하다. 고정효과 모형의 장점은 패널 개체마다 개별특성효과를 구분하여 계수를 추정한다는 데에 있다. 그러나 개별특성효과를 반영하기 위한 더미변수를 생성하는 탓에 너무 많은 자유도를 소모하는 문제가 있다. 그 결과, 고정효과 모형으로 추정한 독립변수들의 계수값이 상대적으로 정확도가 낮아지게 된다. 반면, 확률효과 모형은 독립변수들의 계수값 추정에 정확성이 낮아질 가능성은 적지만 상대적으로 엄격한 가정을 만족해야하는 단점이 있다. 그 가정은 개별특성효과가 독립변수와 아무런 관계를 갖지 않아야 한다는 것으로 이 가정을 충족시키는 것은 상당히 쉽지 않기 때문이다(Ashenfelter, et al., 2002).

## 2.2 패널회귀모형의 선택을 위한 가설검정

### 2.2.1 합동OLS모형에 대한 검정

합동OLS로 추정된 모형에 대해서는 동분산성 가정과 자기상관관계가 없어야 한다는 가정을 충족시키는지 검정이 필요하다. 동분산성인지 이분산성인지를 알 수 있는 우도비(Likelihood Ratio:LR) 검정을 실시하며, LR 검정통계량은 다음과 같이 정의된다.

$$LR = -2(\ln L_R - \ln L_{UR}) \sim \chi_{df}^2$$

위 검정통계량에서  $\ln L_R$ 과  $\ln L_{UR}$ 은 각각 제약이 가해진(restricted)모형과 제약이 없는(unrestricted) 모형의 로그우도함수(log-likelihood function)값이다. 비제약모형은 오차항의 분산이 패널 개체별로 서로 다르다고 가정하는 것이고, 제약모형은 오차항의 분산이 패널 그룹에 따라 다르지 않고 모두 같다고 가정하는 것이다. 각 모형을 추정한 후에 로그우도함수 값을 구하여 검정통계량을 계산할 수 있다. 검정통계량은 카이제곱 분포( $\chi_{df}^2$ )를 따르며 분포의 자유도(df, degree of freedom)는 제약이 가해진 모수의 개수가 된다. LR 검정의 귀무가설은 “오차항이 동분산성을 만족한다”는 것이며, 검정통계량의 p값에 따라 기각할 수 없다면 동분산성 가정을 만족하게 되고, 기각된다면 이분산성이 존재하는 것으로 판단한다(민인식·최필선, 2009).

이분산성의 검정과 함께 자기상관(autocorrelation)에 대한 검정도 필요하다. 자기상관 검정에는 Wooldridge의 검정을 이용할 수 있는데 이 검정의 귀무가설은 “1차(first-order) 자기상관이 존재하지 않는다”는 것이다(민인식·최필선, 2009). 합동OLS 모형에 대한 Wooldridge 검정통계량의 p값에 따라 귀무가설을 기각할 수 없다면, 자기상관이 존재하지 않지만, 기각된다면 자기상관이 존재한다고 말할 수 있다.

합동OLS 모형에 대하여 이분산성 또는 자기상관이 존재하는 것이 확인되면, 패널 GLS, 고정효과 또는 확률효과 모형 중에 가장 적합한 모형을 선택해야 한다.

### 2.2.2 고정효과와 확률효과 모형 선택을 위한 가설검정

일반적으로 많이 사용되는 패널회귀분석 방법 중에 가장 적합한 모형을 선택하기 위해 세 가지의 가설검정을 시행한다.

### 1) 합동OLS Vs 고정효과 모형

첫 번째로, 각 지역의 고정된 오차항  $u_i$ 를 고려할 필요가 있는지를 검정한다. 귀무가설은 「모든 지역( $i$ )에 대해  $u_i = 0$ 」이며, 종속변수와 독립변수에 대하여 고정효과 모형 방식으로 추정하면, 결과에서 귀무가설에 대한 p값이 제시된다. 모형에 포함된 패널 개체의 더미변수가 갖는 추정계수가 모두 0인지 알아보는 F검정이다. 이 F검정에 대한 p값에 따라 귀무가설이 기각된다면, 패널 개체의 특성을 모형에서 고려하는 고정효과 모형이 합동OLS보다 적절하다.

### 2) 합동OLS Vs 확률효과 모형

두 번째로, 확률효과 모형과 합동 OLS 방식 중 어느 것이 더 적절한지, 즉 확률효과 모형의 유의성에 대한 가설검정이 필요하다. BP(Breusch and Pagan) 검정이 사용되며, 귀무가설은 「 $var(u_i) = \sigma_u^2 = 0$ 」이다. 이 가설이 맞다면 오차항의 분산에서  $\sigma_u^2$ 를 고려할 필요가 없게 되므로, 확률효과 모형을 추정할 필요가 없다. 반대로 귀무가설이 기각된다면, 합동OLS보다는 확률효과 모형이 적절하다.

### 3) 고정효과 모형 Vs 확률효과 모형

세 번째로, 고정효과 모형과 확률효과 모형 중에서 어느 것이 더 적절한지를 판단하기 위해서 하우스만(Hausman) 검정을 시행한다. 귀무가설은 「 $cov(x_{it}, u_i) = 0$ 」이고, 대립가설은 「 $cov(x_{it}, u_i) \neq 0$ 」이다. 확률효과 모형의 추정량이 일치추정량이 되기 위해서는 귀무가설이 채택되어야 한다. 하우스만 검정 결과 귀무가설이 채택된다면, 고정효과 모형 보다 확률효과 모형이 더 적합하다.

## 제 3 절 패널데이터 구축 및 기술통계 분석

### 1. 패널데이터 구축

#### 1.1 공간적 범위

본 연구에서는 자연재해 피해의 결정요인을 실증적으로 분석하기 위해 공간적 범위를 시군구로 설정하였다. 자연재해 예방을 위한 계획 수립과 재해 발생 시 현장의 지휘 및 예산집행권은 시군구 지방자치단체가 갖고 있으며, 자연재해 피해액 등 관련 자료를 확보할 수 있는 가장 작은 단위이기 때문이다.

우리나라의 시군구의 수는 통폐합되거나, 분리되어 새로운 지방자치단체로 승격되는 과정에 의해 시기별로 다를 수 있다. 본 연구에서는 2000년 이후 통폐합되거나 분리된 시군구를 제외하고 최종적으로 227개 시군구를 선정하였다. 따라서 본 연구에서 자연재해 피해의 결정요인을 고찰하기 위한 패널데이터는 227개 시군구를 공간적 범위로 한다.

#### 1.2 변수 선정

227개 시군구에 대해서 앞서 살펴본 이론적 배경과 선행연구 검토 결과를 반영하여 자연재해 결정요인과 관련한 변수를 선정하였다. 변수는 종속변수와 독립변수로 구성되며, 독립변수는 다시 사회경제적 요인, 자연적 요인, 도시화 요인, 정책적 요인, 기후 요인으로 구분하였다(표 3.3.1).

종속변수로 1인당 자연재해 피해액, 지역내총생산 대비 피해액, 자연재해 총 피해액 등을 고려할 수 있다. 1인당 자연재해 피해액의 경우, 인구 규모가 작은 지역에서는 재해피해액이 과대평가 될 수 있으며, 반대로 인구 규모가 큰 지역의 피해액은 과소평가 될 가능성이 높다. 지역내총생산 대비 피해액도 동일한 문제를 가질 수 있다. 따라서 본 연구에서는 종속변수로 자연재해 총 피해액을 최종적으로 선택하였다.

자연재해 총 피해액에 영향을 미치는 독립변수는 크게 사회경제적 요인, 자연적 요인, 도시화 요인, 정책적 요인, 기후 요인으로 구성하였다.

자연재해 피해에 미치는 영향을 추정하는 선행연구들에서 면적, 인구밀도, 소득 등이 사회경제적 특성을 보여주는 변수로 사용되었다. 선행연구와 이론적으로 검토한 결과, 면적이 넓고 인구밀도가 높을수록 자연재해에 영향에 취약하여 피해액이 증가



하고, 소득수준이 높을수록 보유하고 있는 자산의 가치가 높아 동일한 강도의 자연재해에도 더 큰 피해액을 보여줄 수 있을 것으로 예상된다. 반면, 반대되는 해석도 가능한데, 소득수준이 높을수록 자연재해 예방 및 대응을 위한 사회간접자본시설, 인력, 투자환경이 잘 갖추어져 있어 자연재해 피해액이 적다는 해석도 가능하다. 본 연구에서는 자연재해 피해를 결정하는 사회경제적 요인 중 소득 또는 재정적 상황에 따라 자연재해 피해를 사전에 예방하거나 사후적으로 이루어지는 복구활동에 차이가 있을 것으로 예상하며 그러한 차이가 피해 규모에 어떠한 영향을 미치는지 개인과 지방정부 측면에서 살펴보고자 한다.

첫째, 개인의 소득수준이 자연재해 피해 규모에 어떠한 영향을 미치는지 살펴본다. 자연재해로 피해를 충분히 예상할 수 있는 상황이거나 과거 경험을 한 개인의 경우, 자연재해 피해를 예방하기 위한 장비, 설비 등을 갖추 수 있어 자연재해로 인한 피해 규모를 줄일 수 있다. 이와는 반대로 소득수준이 높은 개인의 경우 상대적으로 가치가 높은 자산을 보유할 가능성이 있어 자연재해로 인한 피해규모가 더 클 수도 있다. 일반적으로 개인의 소득수준을 나타내는 대리변수로 1인당 지역내총생산이 대표적이거나, 시군구 단위로 제공되는 자료가 없어 본 연구에서는 1인당 주민세액<sup>9)</sup>을 선정하였다.

둘째, 지방정부의 재정적 상황이 자연재해 피해에 어떠한 영향을 미치는지 살펴본다. 개인의 소득수준과 마찬가지로 지방정부의 재정적 상황도 자연재해 피해에 양(+) 또는 음(-)의 부호 중 어떤 방향으로 영향을 미칠지 쉽게 예단할 수 없다. 지방정부의 재정적 상황을 나타내는 대리변수로 총 수입을 나타내는 변수도 가능하나 본 연구에서는 재정자립도를 선정하였다. 지방정부의 총 수입규모를 나타내는 변수는 중앙정부의 재정보조(지방교부세와 보조금 형태)와 지방세입, 지방채 등으로 구성되어 있어 중앙정부의 간섭과 영향력이 반영될 수밖에 없기 때문에 자연재해 관련 정책의 수립과 실행의 주체인 지방정부의 독립적인 영향력을 살펴보려는 본 연구의 의도와 다소 거리가 있다고 판단하였다. 반면, 재정자립도는 각 지방정부의 지방세와 세외 수입의 합을 일반회계세입으로 나눈 값으로써 자연재해 발생 시, 중앙정부의 대응능력과 구별

9) 지방세의 한 종류인 주민세는 균등할과 소득할로 구분되어있으며, 개인의 소득수준을 나타내는 대리변수로 주민세 소득할 자료를 사용하는 것이 필요하나 소득할 자료는 제공되고 있지 않다. 하지만 실제 주민세에서 균등할의 비중은 겨우 2.2%에 지나지 않기 때문에 시군구 단위까지 자료 공개가 되고 있는 주민세 자료를 개인의 소득을 나타내는 대리변수 사용해도 무방하다고 볼 수 있다(박완규, 2010).

되는 지방정부의 독립적인 대응능력을 간접적으로 살펴볼 수 있을 것으로 예상된다.

자연적 요인으로 지역의 평균경사도, 유역의 형상계수, 하천의 유무, 식생 현황, 토양의 형질 등과 같은 변수를 살펴볼 수 있다. 자연재해가 기본적으로 자연의 현상 중의 하나이고, 우리나라에서 발생하는 자연재해에서 홍수가 차지하는 비중이 크며, 자연재해 피해액 항목에서도 하천에서 발생하는 피해액의 비중이 큰 점을 고려하여 하천과 관련된 변수를 선정하였다. 선행연구에서는 주로 하천연장이 변수로 많이 적용되었으나, 시군구 단위로는 확보가 용이하지 않아 하천면적을 최종적으로 선정하였다. 이와 더불어 평균경사도와 형상계수 등의 영향을 간접적으로 파악하기 위해 227개 시군구 패널데이터에 5대강(한강, 금강, 섬진강, 영산강, 낙동강) 유역을 나타내는 더미변수를 추가하였다.

한편, 우리나라에서 발생하는 자연재해의 대부분이 호우, 태풍, 홍수에 해당하는 특징을 고려했을 때, 이러한 자연재해에 대한 취약성을 높이는 요인으로 도시화를 고려할 수 있다. 이에 선행연구들에서는 도시화 요인을 살펴볼 변수로 도시화율, 기반시설 면적, 불투수면 면적 등을 사용하였으며, 본 연구에서는 불투수면 면적을 선정하였다.

정책적 요인을 살펴보려는 이유는 자연재해 피해액의 규모가 자연재해 예방 및 복구 활동 등에 예산집행권을 갖고 있는 시군구 지방자치단체의 정책 및 투자에 따라 달라질 수 있기 때문이다. 이에 본 연구에서는 지방정부의 자연재해 예방을 위한 노력을 살펴보기 위해 지방재정연감 자료 중 세출 결산액의 ‘재난방재/민방위 항목’<sup>10)</sup>을 선정하였다.

기상청에서 설정한 호우주의보 및 특보 기준과 선행연구를 검토하여, 기후 요인으로 일 최대 강수량, 일 강수량 80 mm 이상인 날, 연 강수량을 고려할 수 있다. 특히, 일 최대 강수량과 일 강수량 80 mm 이상인 날의 변수는 기후변화 취약성을 평가하는 선행연구들에서 홍수, 재해 부문의 기후노출을 측정하는데 사용하는 변수들이다. 본 연구에서는 강우강도와 더불어 강수량도 같이 살펴볼 필요가 있다고 판단하여 최종적으로 일 최대 강수량과 연강수량을 선택하였다.

지금까지 살펴본 종속변수와 독립변수, 그리고 최종 선정된 변수들을 <표 3.3.1>에 정리하였다.

10) 지방재정연감에 따르면, ‘재난방재·민방위’항목은 각종 재난으로부터 국토를 보존하고 국민의 생명·신체 및 재산을 보호하기 위한 재난 및 안전관리 업무를 말하며, 방재목적의 소하천정비, 수해상습지 개선사업이 포함되어 있다.

<표 3.3.1> 모형에 반영 가능한 종속변수와 독립변수

범주	변수(영향력)	설명
종속 변수	<b>자연재해 총 피해액</b>	연도별 자연재해피해액 × 지역내총생산 디플레이터(2005년 기준)
	1인당 자연재해 피해액	자연재해 총 피해액 / 인구 수
	지역내총생산 대비 피해액	자연재해 총 피해액 / 지역내총생산
사회 경제적 요인	1인당 지역내총생산	지역내총생산 / 인구 수
	<b>1인당 주민세액 (+ 또는 -)</b>	지방자치단체에 납부한 주민세의 총액
	<b>재정자립도 (+ 또는 -)</b>	(지방세+세외수입)/일반회계세입
자연적 요인	경사도	유역의 평균경사도
	형상계수	유역면적과 동일한 면적을 가지는 원의 직경에 대한 유역의 주하천길이의 비
	<b>하천면적 (+)</b>	행정구역 내 하천면적(km <sup>2</sup> )
도시화 요인	도시화율	도시거주자 인구/ 행정구역 내 인구
	<b>불투수면 면적 (+)</b>	지적통계 내 불투수 지목의 면적(km <sup>2</sup> )
정책적 요인	<b>지방정부의 방재예산 (-)</b>	지방재정연감의 '재난방재/민방위' 항목 세출 결산액
기후 요인	<b>일 최대 강수량 (+)</b>	행정구역 내 기상관측소에서 기록된 일 최대 강수량(mm)
	<b>연 강수량 (+)</b>	연간 총 강수량(mm)

주: 밑줄 친 변수들이 최종적으로 모형에 반영된 변수를 의미한다.

결론적으로 종속변수는 자연재해 총 피해액, 독립변수는 사회경제적 요인, 자연적 요인, 도시화 요인, 정책적 요인, 기후 요인으로 구성하였으며, 선형회귀식으로 표현하면 다음과 같다.

$$DC_{it} = \alpha + \beta_1 tax_{it} + \beta_2 finance_{it} + \beta_3 river_{it} + \beta_4 impervious_{it} + \beta_5 prevention_{it} + \beta_6 maxprcp_{it} + \beta_7 annprcp_{it} + u_{it}$$

종속변수는 자연재해 총 피해액(DC)이며, 재난통계와 재해연보에 기록된 '총 피해액'을 말하며 단위는 백만 원이다.  $\alpha$ 는 상수항,  $\beta$ 는 독립변수의 추정계수이다.  $u_i$ 는 독립적이고 분산이 동일한 오차항이다. 선행연구 및 이론적 검토를 통해 사회경제적

요인으로 1인당 주민세액(tax, 단위: 천 원)과 재정자립도(finance), 자연적 요인으로 하천면적(river, 단위:km<sup>2</sup>), 도시화 요인으로 불투수면 면적(impervious, 단위: km<sup>2</sup>), 정책적 요인으로 지방정부의 방재예산(prevention, 단위: 천 원), 기후 요인으로 일 최대강수량(maxprcp, 단위: mm/일), 연 강수량(annprcp, 단위: mm)을 선정하였다.

### 1.3 패널데이터 구축

앞서 선정한 종속변수와 독립변수를 토대로 패널데이터를 구축하였다. 자연재해 피해의 결정요인을 고찰하기 위한 패널데이터의 공간적 범위는 227개 시군구이며, 시간적 범위는 종속변수와 독립변수 자료들이 최장으로 교차되는 2001년부터 2012년까지 총 12년 동안이다. 따라서 227개 지역에 대한 12년 동안의 종속변수와 독립변수 값이 결합된 총 관측치 2,724개의 균형패널데이터가 구축된다(표 3.3.2).

<표 3.3.2> 균형패널데이터의 구조

지역	년도	자연재해 총 피해액	사회경제적 요인	...	기후 요인
1	2001	242,500	238	...	273
...	...	...	...	...	...
1	2012	10,200	250	...	137
2	2001	775,466	566	...	118
...	...	...	...	...	...
2	2012	21,988	620	...	129
3	2001	84,172	39	...	129
...	...	...	...	...	...
227	2012	416,188	45	...	266

227개 시군구 단위의 자연재해 총 피해액은 국가재난정보센터(<http://safekorea.go.kr>)에서 제공하는 재난통계와 소방방재청에서 발간하는 재해연보에서 수집하였다. 모든 피해액 자료는 지역내총생산 디플레이터를 사용하여 2005년 기준의 불변가격으로 환산하였다.<sup>11)</sup> 지역내총생산 디플레이터는 국가통계포털과 산업연구원(2004)의 자료를 통해 16개 시도를 대상으로 산정하였고 광역지방자치단체를 기준으로 227개 시군구에 적용하였다(표 3.3.3).

11) 패널모형을 통해 추정된 자연재해 총 피해액이 자연재해의 경제적 파급효과 분석을 위한 다지역 연산일반균형모형에 적용되며, 이 모형의 기준년도가 2005년이기 때문이다.

<표 3.3.3> 지역내총생산 디플레이터

	서울 특별시	부산 광역시	대구 광역시	인천 광역시	광주 광역시	대전 광역시	울산 광역시	경기도	강원도	충청 북도	충청 남도	전라 북도	전라 남도	경상 북도	경상 남도	제주도
2001	88.5	86.3	89.9	81.9	83.1	82.7	77.2	69.3	84.0	80.3	65.0	87.0	87.4	72.6	85.7	84.8
2002	95.6	92.1	93.9	90.7	91.0	89.4	89.4	78.8	89.7	87.0	71.0	90.5	94.4	79.7	90.0	91.6
2003	96.8	96.5	96.3	92.9	92.5	96.0	91.7	82.6	97.2	90.4	81.1	95.0	96.5	86.4	95.3	94.5
2004	97.8	97.1	99.4	96.4	93.9	97.5	95.6	90.1	98.2	99.3	91.1	97.8	98.1	92.9	98.1	99.2
2005	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
2006	104.3	103.4	103.9	106.8	106.5	103.4	101.9	107.7	105.0	103.9	112.6	104.5	101.7	101.3	105.7	102.1
2007	108.9	108.2	108.6	114.7	110.4	106.7	106.6	114.3	110.0	110.0	120.6	110.4	108.3	110.3	111.5	108.6
2008	112.2	109.3	110.2	116.7	109.7	108.3	106.8	118.9	111.0	112.2	128.1	111.6	111.5	111.1	117.9	104.9
2009	114.1	106.0	105.3	117.6	110.0	108.8	103.7	119.8	110.2	116.0	135.0	112.2	112.1	107.7	118.5	112.5
2010	115.6	110.1	113.7	128.0	119.3	116.2	110.2	131.6	115.6	126.1	151.2	118.1	119.9	112.6	127.4	115.4
2011	118.1	114.4	115.9	131.5	122.1	117.4	118.3	138.0	119.4	130.5	158.8	123.5	121.2	114.1	130.7	120.3
2012	120.3	116.3	118.7	133.3	123.0	120.3	122.5	140.1	121.3	132.7	164.2	122.7	124.1	115.4	132.3	126.7

자료: 산업연구원, 2004; 국가통계포털(<http://kosis.kr>)

사회경제적 요인인 1인당 주민세액과 재정자립도는 재정고(<http://lofin.mogaha.go.kr>)에서 2001년부터 2014년까지 확보할 수 있다.

자연적 요인인 하천면적은 지적통계연보의 지목 중 하천면적 값을 사용하며, 국토교통 통계누리(<http://www.stat.molit.go.kr>)에서 제공하고 있고, 시간적 범위는 2001년부터 2012년까지이다.

도시화 요인인 불투수면 면적을 산정하는 방법에는 지형도, 인공위성 자료, 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS)을 이용한 직접적인 측정방법과 토지이용 현황을 조사하여 추정하는 간접적인 방법이 있다. 본 연구에서는 지적통계연보의 지목별 자료를 투수면과 불투수면으로 구분하여 간접적으로 227개 시군구의 불투수면 면적을 산정하였다. 투수면은 전, 답, 과수원, 목장용지, 임야면적, 광천지, 염전, 철도용지, 하천, 제방, 구거, 유지, 양어장, 수도용지, 공원, 체육용지, 유원지, 종교용지, 사적지, 묘지, 잡종지 등 21개의 지목이며, 불투수면은 대지, 공장용지, 학교용지, 도로, 주차장, 주유소용지, 창고용지 등 7개의 지목이 해당한다.

정책적 요인인 지방정부의 방재예산은 2001년부터 2014년까지의 227개 시군구 단위 자료를 재정고(<http://lofin.mogaha.go.kr>) 사이트에서 확보할 수 있다.

기후 요인은 국가기후자료센터(<http://sts.kma.go.kr>)에서 1904년부터 2014년 현재 시점까지의 자료를 통해 확보할 수 있으며, 본 연구에서 2001년부터 2012년까지의

전국 60개 관측지점의 일 최대 강수량과 연 강수량을 확보하였다. 그 후 60개 관측소의 행정구역 위치에 따라 227개 지역으로 재분류하였고, 관측소의 개수가 훨씬 적기 때문에 동일한 강수량 자료를 가진 행정구역이 존재한다.

## 2. 기술통계분석

자연재해 피해의 결정요인을 고찰하기 위해 구축한 227개 시군구에 대한 12년간의 패널데이터를 활용하여 전반적인 정보를 얻고자 기술통계분석, 주요 변수의 추세분석, 상관관계 분석을 실시하였다.

227개 시군구의 변수별 평균값을 살펴보면, 자연재해 총 피해액의 평균은 71억 원이고, 최대 피해액은 9,005억 원이다. 12년 동안 227개 시군구의 1인당 주민세액은 평균 124,000원, 재정자립도는 평균 29였다(표 3.3.4).

한편, 하천면적의 평균은 12.2 km<sup>2</sup>며, 불투수면 면적의 평균은 27 km<sup>2</sup>에 달했다. 지방정부의 방재예산은 평균 36억 원이며, 227개 시군구의 평균 일 최대 강수량은 143 mm이고, 연 강수량의 평균은 962 mm로 산출되었다.

최소값과 최대값을 비교하여 자료의 편차를 검토할 수 있는데, 자연재해 총 피해액 변수가 가장 큰 편차를 보이고 있어 분산이 매우 큰 것으로 판단된다. 1인당 주민세액, 지방정부의 방재예산 등도 왜도가 커 지역별로 편차가 다소 큰 것으로 나타났다.

<표 3.3.4> 기술통계분석 결과

변수	기술통계량				
	최소값	최대값	평균	왜도	관측값(n)
자연재해 총 피해액(백만원)	0	900,573	7,168	14	2,724
1인당 주민세액(백만원)	0.005	6.316	0.124	12	2,724
재정자립도	6	95	29	1	2,724
하천면적(m <sup>2</sup> )	1	60,420,564	12,282,627	1	2,724
불투수면 면적(m <sup>2</sup> )	150,162	138,716,323	27,075,325	1	2,724
지방정부방재예산(백만원)	22	181,534	3,646	9	2,724
일 최대 강수량(mm)	50	870	143	3	2,724
연 강수량(mm)	303	2,055	962	1	2,724

변수의 편차가 지나치게 클 경우 회귀분석으로 계수를 추정할 때 이분산성 문제를 야기할 수 있기 때문에 이를 해소하기 위한 변수의 조정이 필요하다. 이에 본 연구에서는 자료의 안정성을 확보하기 위해 변수들을 로그 변환하였다(표 3.3.5). 즉, 변수에 자연로그를 취하여 자료의 편차, 왜도 등의 문제를 해소하고자 한다. 로그를 취한 후의 변수들의 기초통계량은 전반적으로 안정된 모습을 보여 모형 추정에 큰 무리가 없을 것으로 판단된다.

<표 3.3.5> 로그변환 후 기술통계분석 결과

변수	기술통계량				
	최소값	최대값	평균	왜도	관측값(n)
ln_자연재해 총 피해액	0.00	20.62	10.52	-0.88	2,724
ln_1인당 주민세액	-5.33	1.84	-2.60	1.08	2,724
ln_재정자립도	1.86	4.55	3.22	0.01	2,724
ln_하천면적	0.00	17.92	15.32	-2.63	2,724
ln_불투수면 면적	11.92	18.75	16.90	-1.48	2,724
ln_지방정부방재예산	3.09	6.94	12.11	0.46	2,724
ln_일 최대 강수량	3.91	6.77	4.87	0.37	2,724
ln_연 강수량	5.71	7.63	6.83	-0.21	2,724

한편, 서로 다른 단위를 가진 자료를 분석하기 위해 자료를 표준화하는 방법도 있다. 자료를 표준화하는 것은 각 변수에 대한 평균을 0, 표준편차를 1로 맞추어 회귀분석의 정규성 가정을 충족시키는 장점을 가지고 있다. 그러나 본 연구에서는 표준화된 자료가 분석의 효율을 높이는 측면보다는 변수가 가지고 있는 정보를 상당부분 잃어버릴 우려가 있어 표준화를 하지 않았다. 대신 로그 변환된 변수를 활용하여 회귀분석을 실시할 경우, 변화과정에서 분석의 단위가 줄어들고 자료의 전체적인 안정성도 향상되며, 측정단위가 달라도 로그변수로 추정된 계수값은 종속변수에 대한 독립변수의 상대적인 변화율을 구해주는 장점이 있다(Gujarati, 1995).

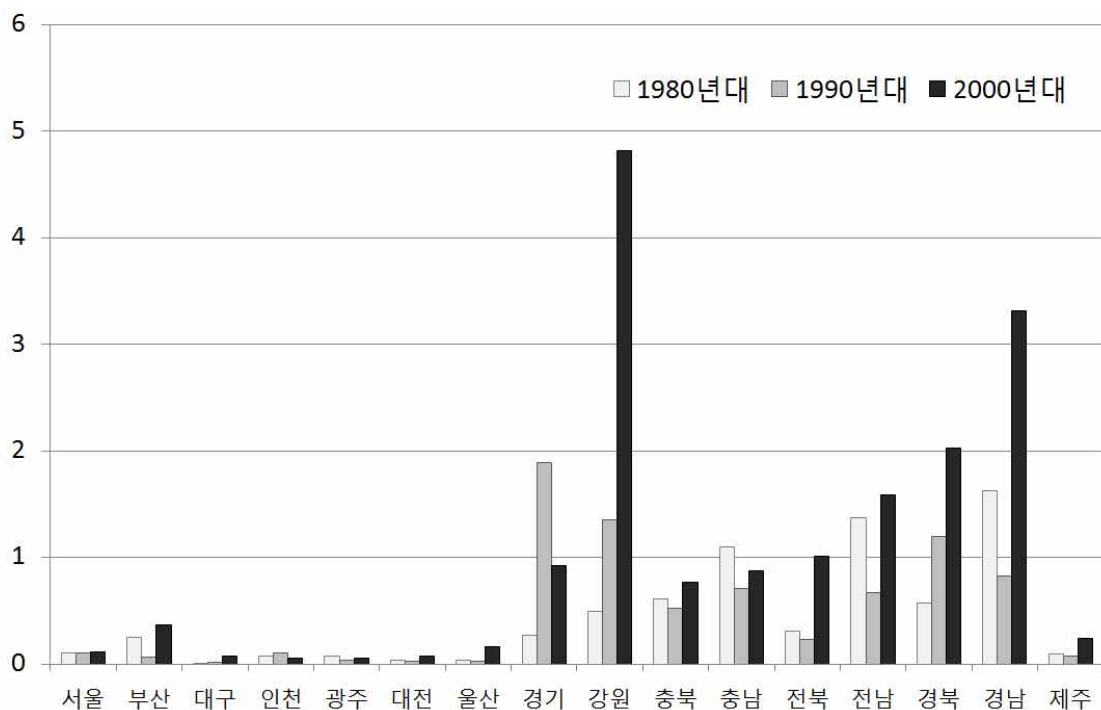
### 3. 주요 변수의 지역별 추세

분석단위인 227개 시군구 단위로 주요 변수들의 추세를 분석하는 것이 여의치 않아, 16개 시도 단위로 살펴보기로 한다.

#### 3.1 자연재해 총 피해액

최근 34년간(1979년 ~2012년) 16개 시도의 전반적인 자연재해 피해를 분석하기 위해 10년 단위로 평균 피해액을 구하였다(그림 3.3.1). 1980년대는 1979년부터 1989년, 1990년대는 1990년부터 1999년, 2000년대는 2000년부터 2012년까지이다.

전체적으로 자연재해 총 피해액이 증가한 추세를 확인할 수 있으며, 특히 2000년 이후 자연재해 총 피해액의 평균이 크게 증가한 것을 알 수 있었다. 강원도의 경우, 1980년대부터 2000년대 까지 연대별로 뚜렷한 증가추세를 보여주고 있으며, 특히, 2000년대에는 자연재해 총 피해액의 평균이 16개 시도 중에서 가장 큰 폭으로 증가하였다. 또한 서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산과 같은 대도시 지역의 자연재해 총 피해액이 다른 광역자치단체와 비교했을 때, 상당히 적은 것으로 확인되었다.



<그림 3.3.1> 16개 시도의 10년 단위 자연재해 총 피해액의 평균(1980~2012)(단위: 천억 원)

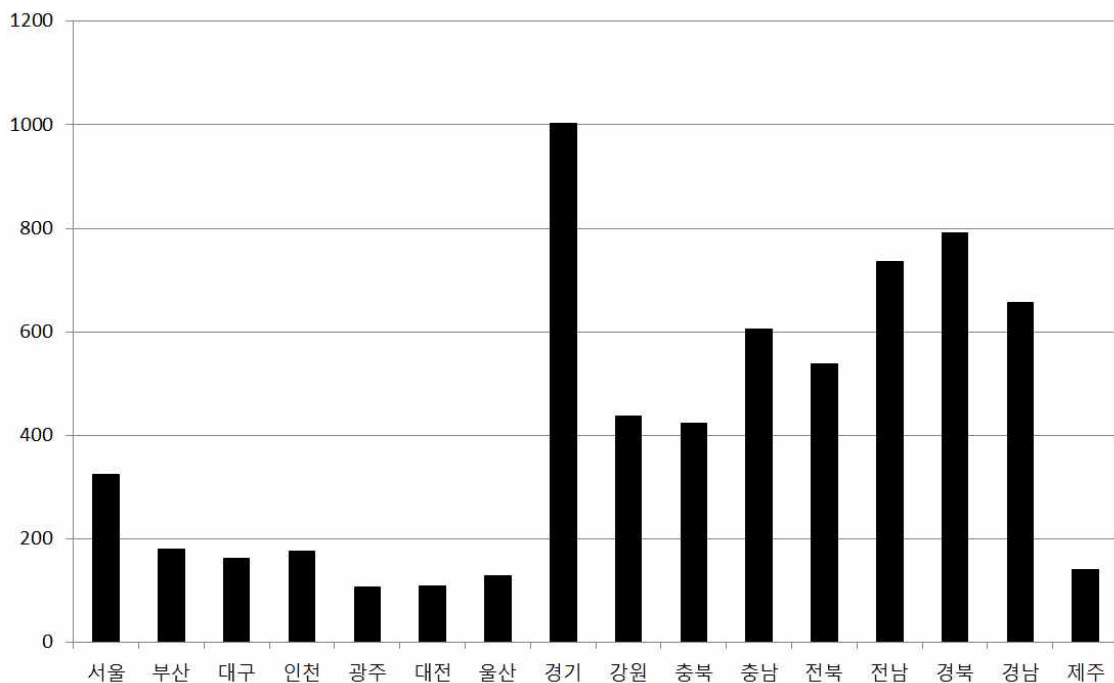
자료: 국가재난정보센터(<http://safekore.go.kr>)



### 3.2 불투수면 면적

2001년부터 2012년까지의 16개 시도별 불투수면 면적의 평균을 계산하였다(그림 3.3.2). 경기도 지역이 1,003 km<sup>2</sup>로 가장 넓은 불투수면을 가지고 있으며, 광주광역시 107 km<sup>2</sup>로 불투수면 면적이 가장 작았다. 예상외로 서울, 부산, 대구 등 대도시 지역의 불투수면 면적이 다른 광역지자체보다 다소 적은 것으로 나타났다. 광역지자체의 경우, 행정구역 면적이 넓은 만큼 불투수면 면적도 더 많이 포함하고 있는 것으로 판단된다.

<표 3.3.6>은 2012년 행정구역 면적 대비 불투수면 면적의 비율을 계산한 것으로 대도시 지역이 불투수면 면적 비율은 높지만, 절대적인 불투수면 면적은 더 적은 것으로 나타났다. 종속변수가 자연재해 총 피해액이라는 점을 고려했을 때, 불투수면 면적 비율 보다는 불투수면 면적의 규모가 토지이용에 따른 자연재해 피해의 가중 여부를 파악하는데 더 적합할 것으로 판단된다.



<그림 3.3.2> 16개 시도별 평균 불투수면 면적(단위: km<sup>2</sup>)

자료: 지적통계연보(국토교통통계누리 <http://www.stat.molit.go.kr>)

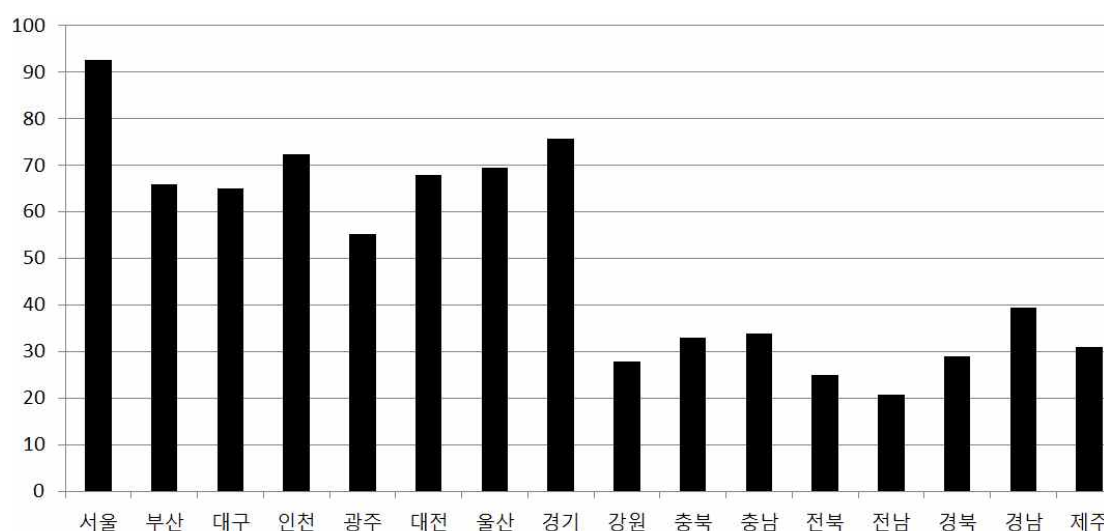
<표 3.3.6> 불투수면 비율

지역	불투수면 비율(%)	지역	불투수면 비율(%)
서울	53.5%	강원	2.8%
부산	25.3%	충북	6.4%
대구	19.3%	충남	7.8%
인천	19.9%	전북	7.2%
광주	24.0%	전남	6.6%
대전	22.3%	경북	4.4%
울산	13.8%	경남	6.9%
경기	11.5%	제주	8.4%

자료: 지적통계연보(국토교통통계누리 <http://www.stat.molit.go.kr>)

### 3.3 재정자립도

16개 시도의 최근 12년(2001년 ~ 2012년) 동안의 평균 재정자립도는 <그림 3.3.3>과 같다. 전남 지역이 20.7로 재정자립도 가장 낮고, 서울이 92.5로 가장 높은 재정자립도를 보여주었다. 서울, 부산, 대구 등 대도시 지역의 재정자립도가 경기도를 제외한 광역지자체와 비교했을 때, 월등히 높은 재정자립도를 유지하였다.

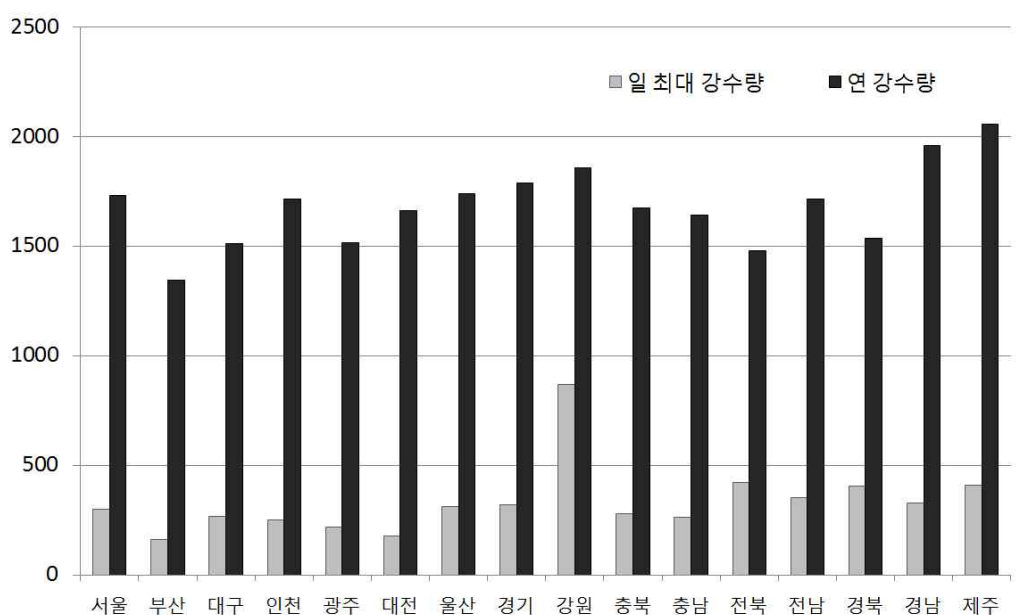


<그림 3.3.3> 16개 시도별 평균 재정자립도

자료: 재정고(<http://lofin.mogaha.go.kr>)

### 3.4 강수량

2001년부터 2012년까지 강수량 자료는 평균값이 아닌 최대값으로 지역의 강수특성을 살펴보고자 한다. 일 최대 강수량의 경우, 강원도 지역이 870 mm로 최고치를 기록하였으며, 연 강수량에서는 제주도가 2,055 mm로 최고치를 보여주었다(그림 3.3.4).



<그림 3.3.4> 16개 시도의 일 최대 강수량 및 연 강수량의 최대값(단위: mm)

자료: 국가기후자료센터(<http://climate.go.kr>)

## 4. 상관관계 분석

자연재해 총 피해액과 7개의 독립변수 사이, 그리고 독립변수들 간에 존재하는 상호 영향 정도를 살펴보고자 피어슨 상관관계 분석을 하였다(표 3.3.7).

상관관계 분석 결과, 지방정부 방재예산 변수를 제외한 모든 독립변수들이 자연재해 총 피해액과 5% 유의수준에서 상관관계를 보여주었다. 1인당 주민세액과 재정자립도 변수만 음(-)의 부호로 나왔고, 나머지 독립변수들은 자연재해 총 피해액과 양(+)의 상관관계를 보였다. 다만, 지방정부의 방재 예산 변수의 경우, 유의미한 결과는 아니지만 자연재해 피해액과 음(-)의 관계를 보여줄 것이라는 예상과 달리 양(+)의 상관관계를 나타내었다. 가장 높은 상관관계를 가진 변수는 하천면적이지만, 0.3 정도로 자연재해 총 피해액과 약한 상관관계를 가진다.

<표 3.3.7> 피어슨 상관관계 분석 결과

	자연재해 총 피해액	1인당 주민세액	재정 자립도	하천 면적	불투수면 면적	지방정부 방재예산	일 최대 강수량	연 강수량
자연재해 총 피해액	1.000							
1인당 주민세액	-0.0172**	1.000						
재정 자립도	-0.222**	0.569**	1.000					
하천면적	0.313**	-0.148**	-0.247**	1.000				
불투수면 면적	0.262**	0.047**	-0.036	0.552**	1.000			
지방정부 방재예산	0.015	0.201**	-0.670**	0.426**	0.201**	1.000		
일 최대 강수량	0.217**	-0.01	0.084**	-0.006	-0.025	-0.041**	1.000	
연 강수량	0.225**	0.064**	0.123**	-0.017	-0.032	-0.041**	0.647**	1.000

\* p<0.1, \*\* p<0.5, \*\*\* p<0.01

주: 로그변환한 변수들에 대한 상관관계 분석임.

지금까지 227개 시군구 패널데이터에 대한 기술통계분석과 상관관계 분석 결과를 기초로 자연재해 피해의 결정요인을 고찰하기 위한 패널 모형을 구축하고자 한다.

## 제 4 절 패널회귀분석 결과

### 1. 패널데이터의 안정성 검정

패널회귀분석에 앞서 사용하고자하는 패널데이터가 안정적인지(stationary) 사전적으로 검정해야 한다. 만약 개별 변수들이 안정적이지 않다면 이들 간의 인과관계는 가성회귀(spurious regression)의 문제가 초래된다. 개별 시계열자료가 단위근(unit-root)을 갖는 불안정(non-stationary)계열인 경우 전통적 계량분석에서 사용되는 이론들을 그대로 적용시키면 가성적 회귀현상이 발생하여 추정의 신뢰성이 저하된다. 패널데이터가 다음의 세 가지 항목을 만족하는 경우 안정적이라고 한다(Hill, 2011).

$$E(y_t) = \mu \text{ (일정한 평균)}$$

$$\text{var}(y_t) = \sigma^2 \text{ (일정한 분산)}$$

$$\text{cov}(y_t, y_{t+s}) = \text{cov}(y_t, y_{t-s}) = \gamma_s \text{ (} t \text{가 아닌 } s \text{에 의존하는 공분산)}$$

다시 말하면 시점이 변화하더라도 평균과 분산이 일정하고, 특정한 두 시점 값 사이의 공분산이 오직 둘 간의 시간 길이에만 영향을 받고, 관찰된 두 시점 자체에는 영향을 받지 않는 경우에 안정적이라고 한다. 이러한 항목을 만족하지 못하는 불안정한(nonstationarity) 패널데이터를 사용하여 회귀분석을 하는 경우, 연관관계가 전혀 없는 종속변수와 독립변수가 매우 유의한 상관관계를 가진다는 분석결과를 얻을 수도 있다. 즉, 상관관계가 없더라도 단지 시간의 흐름에 따른 추세를 공유하기 때문에 상관관계가 있다는 결과가 도출될 가능성이 높다. Levin, Lin and Chu(2002)의 방법에 의해 패널 단위근을 검정한 결과는 <표 3.4.1>과 같다.

<표 3.4.1> 패널데이터의 단위근 검정 결과(p-값)

변수		통계량	p-value
종속변수	ln_자연재해 총 피해액	-19.069	0.000
사회경제적 요인	ln_1인당 주민세액	-22.188	0.000
	ln_재정자립도	-14.549	0.000
자연적 요인	ln_하천면적	-38.363	0.000
도시화 요인	ln_불투수면 면적	-53.746	0.000
정책적 요인	ln_지방정부 방재예산	-2.970	0.000
기후 요인	ln_일 최대 강수량	-15.966	0.000
	ln_연 강수량	-22.810	0.000

## 2. 패널회귀모형의 추정

자연재해 피해의 결정요인을 분석하기 위해 본 연구는 자연재해 총 피해액을 종속 변수로 하고, 이에 영향을 주는 독립변수로 1인당 주민세액, 재정자립도, 하천면적, 불투수면 면적, 지방정부 방재예산, 일 최대 강수량, 연 강수량으로 패널회귀모형을 추정한다.

종속변수와 독립변수에 로그를 취하여 자연대수식으로 모형을 설정하였으며, 이를 통해 개별 독립변수의 변화율에 따른 자연재해 총 피해액의 변화율을 살펴볼 수 있다. 로그변수로 변환시킬 경우 자료의 분산이 줄어들어 보다 안정적인 계수를 추정할 수 있도록 해주며, 많은 경우 이분산성의 문제도 해결할 수 있게 된다(최충익, 2004).

$$\ln(DC_{it}) = \alpha + \beta_1 \ln(tax_{it}) + \beta_2 \ln(finance_{it}) + \beta_3 \ln(river_{it}) + \beta_4 \ln(impervious_{it}) + \beta_5 \ln(preventon_{it}) + \beta_6 \ln(maxprcp_{it}) + \beta_7 \ln(annprcp_{it}) + u_{it}$$

자연재해 총 피해액에 영향을 미치는 변수임에도 이것이 모형에 누락되어 있다면 그 모형은 전혀 유의하지 않게 된다. 이에 지역마다 파악되지 않은 해당 지역의 자연재해 피해 특성을 결정짓는 어떤 변수가 있다고 가정하는 분석이 필요한 것이다. 만약 고정효과 모형이 적합하다면 각 지역은 자연재해 피해액에 영향을 미치는 지역 고유의 변수를 갖고 있음을 뜻한다. 반면 확률효과 모형이 적합하다면 시간의 흐름에

따라 고정적이라고 가정한 지역별 특성효과가 존재하지 않음을 의미하며 해마다 변화하는 어떠한 다른 요인이 지역별로 확률적임을 뜻한다.

본 연구는 앞서 구축한 패널데이터를 이용하여 합동OLS부터 추정하여 이분산성 및 자기상관 여부를 검정한다. 그 다음 오차항을 지역간 특성효과와 교란항으로 구분하여 분석하는 일원오차성분모형과 지역간 특성효과와 시간적 특성효과 그리고 교란항으로 구분하여 분석하는 이원오차분석모형을 모두 추정하여 비교한다. 이러한 패널 데이터 분석을 위해 본 연구에서는 STATA/IC 11.0을 사용하였다.

## 2.1 합동OLS 추정 및 검정

데이터의 구조가 패널구조라는 사실을 무시하고 본 연구에서 구축한 패널데이터의 합동OLS 모형을 추정하였다(표 3.4.2).

<표 3.4.2> 합동OLS 추정 결과

독립변수	추정계수	표준오차	t	p-value
ln_1인당 주민세액	-0.945 ***	0.185	-5.120	0.000
ln_재정자립도	-1.068 ***	0.272	-3.930	0.000
ln_하천면적	0.547 ***	0.073	7.460	0.000
ln_불투수면 면적	1.088 ***	0.200	5.440	0.000
ln_지방정부 방재예산	-0.102	0.073	-1.400	0.162
ln_일 최대 강수량	1.725 ***	0.317	5.430	0.000
ln_연 강수량	4.050 ***	0.451	8.980	0.000
상수	-50.612 ***	4.072	-12.430	0.000
관측값(N)	2724			
Adjusted R <sup>2</sup>	0.21			

\* p<0.1, \*\* p<0.05, \*\*\* p<0.01

합동OLS로 추정한 결과, 1% 유의수준에서 지방정부 방재예산 변수를 제외한 모든 변수가 유의미한 계수를 가진 것으로 나타났다(표 3.4.2). 하천면적, 불투수면 면적, 일 최대 강수량, 연 강수량이 증가할수록 자연재해 피해 규모도 늘어나는 것으로 분석되었다. 음의 부호를 가진 변수는 1인당 주민세액과 재정자립도 변수였다. 이와 같이 얻어진 OLS 추정량이 BLUE(best linear unbiased estimator, 최우수선형불편추정량)이 되기 위해서는 t시점에서 패널 그룹간 오차항의 상관관계가 존재하지 않아야

하고 오차항의 분산은 모두 서로 같아야 한다(민인식, 최필선, 2009).

추정된 합동OLS 모형에 대한 이분산성과 자기상관 존재여부를 각각 LR 검정과 Wooldridge 검정을 통해 확인하였다(표 3.4.3). LR 검정결과, 오차항의 분산이 동일하다는 귀무가설이 1% 유의수준에서 기각되어 오차항의 분산이 서로 다른 이분산성이 존재하는 것으로 확인되었다. Wooldridge 검정결과, 1% 유의수준에서 1차 자기상관이 존재하지 않는다는 귀무가설을 기각하여 자기상관이 존재한다고 말할 수 있다.

<표 3.4.3> 이분산성과 자기상관 검정 결과

구분	내용			
이분산성 (존재)	lrtest ur_model r_model, df(226)			
	Likelihood-ratio test	LR chi2(226)	=	505.08
		Prob > chi2	=	0.00
자기상관 (존재)	Wooldridge test for autocorrelation in panel data			
	H0: no first order autocorrelation			
		F(1, 226)	=	37.27
		Prob > F	=	0.00

본 연구에서 구축한 227개 시군구 패널데이터는 이분산성과 자기상관이 존재하며, 합동OLS의 추정량의 표준오차에 영향을 주어 비효율적인 추정량이 도출될 수 있다. 따라서 이분산성과 자기상관을 고려하여 패널모형을 추정해야 하며, 오차항에 대한 가정을 달리하는 일원오차성분 모형과 이원오차성분 모형을 모두 추정하여 그 결과를 비교하고 분석한다.

## 2.2 일원오차성분모형의 추정

### 2.2.1 고정효과 모형

고정효과 모형은 오차항에 지역특성효과 존재하고 그 값이 지역마다 고정되어 있다는 가정을 하고 있다. 그리고 본 연구에서 구축한 패널데이터의 합동OLS 모형을 추정하고 이분산성과 자기상관을 검정한 결과, 이분산성과 자기상관이 존재함을 확인하였기 때문에 이분산성과 자기상관을 고려한 고정효과 모형 추정이 필요하다.

<표 3.4.4>는 우리나라의 227개 시군구에 대한 2001년부터 2012년까지 변하지 않는 지역별 특성이 있다는 가정을 적용하고, 이분산성과 자기상관을 고려하여 추정한



모형의 결과이다. 지역의 특성을 고정한 경우, 시간의 특성을 고정한 경우로 구분하여 추정하였으며, 지역을 고정시킨 모형이 독립변수들의 유의성이 높았으나 설명력을 나타내는 수정된 R제곱값이 0.05로 상당히 낮았다.

<표 3.4.4> 일원오차성분 고정효과 모형 추정 결과

독립변수	고정효과(지역)		고정효과(시간)	
	추정계수	표준오차	추정계수	표준오차
ln_1인당 주민세액	-2.248 ***	0.599	0.651 **	0.264
ln_재정자립도	2.838 ***	0.952	-3.039 ***	0.500
ln_하천면적	0.271	0.194	0.387 ***	0.099
ln_불투수면 면적	-0.084	0.103	1.269 **	0.553
ln_지방정부 방재예산	0.044	0.176	0.598 **	0.239
ln_일 최대 강수량	1.513 ***	0.512	-0.322	0.908
ln_연 강수량	5.080 ***	0.905	5.111 ***	1.221
상수	-49.547 ***	9.065	-42.862 ***	5.569
관측값(N)	2724		2724	
Adjusted R <sup>2</sup>	0.05		0.16	

\* p<0.1, \*\* p<0.05, \*\*\* p<0.01

시간을 고정시킨 모형의 결과 위주로 해석하면, 일 최대 강수량 변수를 제외한 모든 독립변수가 5% 유의수준에서 자연재해 총 피해액에 영향을 미친다. 1인당 주민세액, 하천면적, 불투수면 면적, 지방정부 방재예산과 연 강수량은 양(+)의 방향으로, 재정자립도는 음(-)의 방향으로 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이 중 추정계수의 값이 가장 큰 연 강수량의 경우, 1% 증가할 때 자연재해 총 피해액은 5.11% 증가한다고 해석할 수 있다.

1인당 주민세액의 경우, 개인의 소득 수준을 대리하는 변수로서 지역특성 고정효과 모형에서는 음(-)이 부호를 보였으나 시간특성 고정효과 모형에서는 양(+)의 부호를 나타내 일관된 결과를 보여주지 못했다. 선행연구에서도 소득이 자연재해 피해규모에 미치는 영향에 대해서 일관된 결과보다는 증가 또는 감소 모두 나타나고 있으므로 다른 모형을 추정하면서 보다 면밀히 살펴보기로 한다.

일 최대 강수량 변수도 지역특성을 고정한 고정효과 모형에서는 유의미하였으나,

시간특성을 고려한 모형에서는 그렇지 못했다. 다만, 유의미한 계수를 보여준 경우에도 연 강수량의 추정계수보다 값이 작아 자연재해 피해 규모는 강우강도 보다는 강우의 총 규모에 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

<표 3.4.5>는 일원오차 시간고정효과모형에 의한 시간특성효과를 보여주고 있다. 2001년도는 고정효과 모형에서 시간더미 변수를 설정할 때 기준으로 적용되어 추정된 계수값이 존재하지 않는다. 태풍 루사로 우리나라 역사상 가장 큰 자연재해 피해액을 기록하였던 2002년을 제외하고 모든 년도의 추정값이 (-)값을 보이고 있음은 2001년 이후로 자연재해 피해가 시계열적으로 감소하였음을 시사하고 있다.

이와 같은 (-)값의 의미는 정확히 어떤 요인에 의한 것인지 파악할 수는 없지만, 2001년에 비해 자연재해 피해를 감소시키는 영향이 있었음을 의미한다. 반대로 2002년은 유일하게 (+)값을 보인 년도로 자연재해 피해를 증가시키는 변수화 되지 않은 어떤 영향, 예를 들면, 태풍 루사가 있었던 해인만큼 모형에 반영되지 않은 태풍과 관련된 풍속, 강풍 등의 영향이 있었을 것으로 짐작할 수 있다.

<표 3.4.5> 일원고정효과 모형의 시간특성효과

년도	추정계수	표준오차	통계량(t)	P값
2001	기준			
2002	1.254	0.413	3.040	0.003
2003	-3.411	0.717	-4.750	0.000
2004	-3.263	0.596	-5.480	0.000
2005	-3.240	0.658	-4.930	0.000
2006	-2.014	0.548	-3.680	0.000
2007	-5.674	0.636	-8.910	0.000
2008	-7.999	0.660	-12.120	0.000
2009	-4.233	0.746	-5.670	0.000
2010	-3.321	0.594	-5.590	0.000
2011	-3.021	0.701	-4.310	0.000
2012	-1.684	0.738	-2.280	0.023

한편, 지역특성 고정효과 모형이 설명력이 낮지만, 지역특성효과를 확인하고 그 함의를 논하는데 활용할 수 있는 장점이 있다. 이에 본 연구에서는 지역특성을 고정시킨 모형을 통해 유역별, 권역별 등으로 고정된 특성이 존재하는지 추가적으로 분석을

시도하였다.

본 연구에서 구축한 227개 시군구 패널데이터에는 5대강 유역(한강, 금강, 영산강, 섬진강, 낙동강)을 나타내는 더미변수, 6대 권역(수도권, 충청권, 호남권, 경북권, 경남권, 강원권)을 나타내는 더미변수, 16개 행정구역(서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산, 경기, 강원, 충북, 충남, 전북, 전남, 경북, 경남, 제주)을 나타낸 더미변수 등 총 세 종류의 더미변수가 포함되어 있다. 이 더미변수를 지역특성 고정효과 모형에 개별적으로 추가하여 그 결과를 정리하였다(표 3.4.6).

<표 3.4.6> 일원지역고정효과 모형을 통한 지역특성 분석

유역별 특성		권역별 특성		행정구역별 특성	
한강	기준	수도권	기준	서울	기준
				부산	4.500*
				대구	-0.598
금강	-1.072	충청권	3.365**	인천	3.287***
				광주	3.498
				대전	3.269*
영산강	-0.545	호남권	3.585**	울산	2.657
				경기	4.141***
				강원	6.423***
섬진강	-0.481	경북권	1.441**	충북	6.438***
				충남	5.601***
				전북	6.270***
낙동강	-1.837***	경남권	2.832*	전남	5.740***
				경북	5.467***
		강원권	4.715**	경남	5.757***
				제주	7.305***

\* p<0.1, \*\* p<0.05, \*\*\* p<0.01

유역더미변수의 추정계수를 살펴보면, 모든 유역이 통계적으로 유의미한 값을 가진 것은 아니지만 한강 유역을 기준으로 했을 때 모든 유역이 (-)의 값을 가진다. 이는 한강 유역이 어떤 관찰되지 않은 유역의 특성에 의해서 다른 유역보다 자연재해 피해가 큰 것으로 해석할 수 있다. 그러한 관찰되지 않은 특성에는 경사도, 형상계수

와 같은 지형적 요인을 들 수 있으며, 경사도와 형상계수가 클수록 침투유량에 차이가 있고 홍수와 같은 자연재해에 노출될 가능성이 크다. 5대강 유역의 평균경사와 형상계수를 살펴보면, 한강유역의 평균경사가 가장 크고 형상계수도 큰 편에 속하는 것을 확인할 수 있다(표 3.4.7). 반면, 낙동강 유역의 형상계수가 1.62로 가장 큼에도 불구하고 다른 유역에 비해 자연재해 피해액이 상대적으로 가장 적은 것으로 추정되었는데, 이는 평균경사와 형상계수 이외의 어떤 관찰되지 않은 특성(예: 토양의 형질 등)에 의해 피해가 적은 것으로 보인다.

<표 3.4.7> 5대강 유역의 평균경사와 형상계수 비교

유역명	평균경사(%)	형상계수
한강	39.05	1.40
금강	32.20	1.12
섬진강	37.50	1.37
영산강	23.63	1.15
낙동강	37.03	1.62

자료: 국가수자원관리종합정보시스템 <http://www.wamis.go.kr>

권역별 더미변수를 살펴보면, 유의수준 10% 하에서 모든 권역에서 유의미한 계수값을 보여주었으며 수도권을 기준으로 했을 때 모든 권역이 (+)의 값을 나타내었다. 이는 수도권에 갖는 어떤 특성에 의해 다른 지역보다 상대적으로 자연재해 피해 규모가 작은 것으로 보인다. 반면, 강원권은 가장 큰 계수값을 나타내었으며, 강원권 권역의 고유한 어떤 특성이 자연재해 피해 규모를 증가시킨 것으로 해석할 수 있다.

행정구역별 더미변수변수를 추가한 결과, 대구광역시, 광주광역시, 울산광역시를 제외한 모든 행정구역의 추정계수가 유의수준 10% 하에서 통계적으로 유의미하였다. 서울시를 기준으로 했을 때 강원도, 충청북도, 전라북도, 제주도 지역의 계수값이 6 이상으로 상대적으로 다른 지역보다 자연재해 피해가 클 수밖에 없는 지역 고유의 특성을 갖고 있는 것으로 나타났다.

### 2.2.2 확률효과 모형

확률효과 모형은 고정효과 모형과 다르게 지역특성효과가 고정된 값이 아니라 시간의 흐름에 따라 확률적인 것으로 가정한다. 즉, 확률효과 모형은 오차항에 지역

고유의 특별한 값이 존재한다고 가정하지 않는다. 고정효과와 동일하게 패널데이터의 이분산성과 자기상관을 고려하여 확률효과 모형을 추정하였다(표 3.4.8).

확률효과도 앞의 고정효과 모형 추정과 동일하게 두 가지 방향으로 추정하였다. 하나는 지역의 특성이 확률적으로 존재한다는 모형이고, 다른 하나는 시간의 특성이 확률적으로 존재한다는 모형이다. 추정결과, 시간의 특성을 확률적으로 가정한 모형에서 더 많은 변수가 유의미한 추정계수를 보여주는 것으로 확인되었다. 10% 유의수준에서 1인당 주민세액, 재정자립도, 하천면적, 불투수면 면적, 지방정부 방재예산, 연 강수량이 유의미한 추정계수를 보여주었다.

지역특성에 대한 확률효과 모형의 결과와 다르게, 1인당 주민세액은 양(+)의 부호로 바뀌었고, 재정자립도, 불투수면 면적, 지방정부 방재예산 변수가 새롭게 유의미한 변수로 추가되었으나, 일 최대 강수량 변수의 추정계수는 유의미하지 않게 바뀌었다. 그리고 고정효과 모형 추정결과와 동일하게, 연 강수량이 가장 큰 추정계수를 가져 자연재해 피해규모에 미치는 영향력이 가장 컸다.

<표 3.4.8> 일원오차성분 확률효과 모형 추정 결과

독립변수	확률효과(지역)		확률효과(시간)	
	추정계수	표준오차	추정계수	표준오차
ln_1인당 주민세액	-0.945 ***	0.233	0.590 **	0.263
ln_재정자립도	-1.068	0.668	-2.966 ***	0.514
ln_하천면적	0.547 **	0.252	0.393 ***	0.099
ln_불투수면 면적	1.088	0.795	1.289 **	0.556
ln_지방정부 방재예산	-0.102	0.164	0.544 **	0.230
ln_일 최대 강수량	1.725 **	0.718	-0.238	0.900
ln_연 강수량	4.050 ***	1.062	5.019 ***	1.206
상수	-50.612 ***	11.700	-43.075 ***	5.906
관측값(N)	2724		2724	
Adjusted R <sup>2</sup>	0.21		0.16	

\* p<0.1, \*\* p<0.05, \*\*\* p<0.01

한편, 고정효과와 확률효과 모형 중에 어떤 모형을 선택할 것인가에 대해서 하우스만 검정이 필요하다. 지역특성에 대한 고정효과와 확률효과 모형을 검정한 결과, p

값이 0.05보다 작아 지역특성은 고정효과로 추정하는 것이 더 적합하다. 또한, 시간 특성에 대해서도 p값이 0.05보다 작아 고정효과로 추정하는 것이 더 적합한 것으로 나타났다(표 3.4.9).

이와 같이 일원오차분석에 의해 오차항을 지역특성효과와 순수오차항, 또는 시간 특성효과와 순수오차항으로 분해하여 고정효과와 확률효과를 비교하였다. 이하에서는 2001년부터 2012년까지 227개 시군구별로 지역 및 시간특성이 존재하는지를 파악하기 위해 이원오차분석모형을 적용하여 고정효과와 확률효과를 추정하고 비교한다.

<표 3.4.9> 일원오차성분 모형에 대한 하우스만 검정 결과

독립변수	지역특성		시간특성	
	고정효과	확률효과	고정효과	확률효과
ln_1인당 주민세액	-2.248	-0.945	0.651	0.590
ln_재정자립도	2.838	-1.068	-3.039	-2.966
ln_하천면적	0.271	0.547	0.387	0.393
ln_불투수면 면적	-0.084	1.088	1.269	1.289
ln_지방정부 방재예산	0.044	-0.102	0.598	0.544
ln_일 최대 강수량	1.513	1.725	-0.322	-0.238
ln_연 강수량	5.080	4.050	5.111	5.019
통계량	Ho: difference in coefficients not systematic			
	chi2(7)	= 228.56	chi2(7)	= 50.97
	Prob>chi2	= 0.00	Prob>chi2	= 0.00

### 2.3 이원오차분석모형

일원오차분석모형의 경우, 오차항을 지역특성효과와 순수 오차항으로만 구분하기 때문에 시간의 변화에 따른 구조적인 영향이 존재할 경우 이를 통제하지 못한다. 시간의 영향을 통제하기 위해서 오차항을 지역특성효과, 시간특성효과 그리고 순수 오차항으로 구분하는 이원오차분석도 검토할 필요가 있다. 자연재해 피해의 경우, 예측하기 힘들고 복잡한 인과관계를 가지고 있어 지역특성효과와 함께 시간이 미치는 영향의 존재여부를 고려할 필요가 있다.

### 2.3.1 고정효과 모형

이원오차분석모형 중 고정효과 모형으로 추정한다는 의미는 오차항에 지역특성효과와 시간특성효과가 존재하고, 각각의 값이 지역별로 고정되어 있고 시간별로 고정되어 있다는 것이다. 이와 같은 가정으로 모형을 추정한 결과, 하천면적과 연 강수량 변수의 추정계수를 제외한 모든 변수가 유의하지 않았다(표 3.4.10). 지역특성효과와 시간특성효과를 추정하면서 자유도의 수가 줄어 독립변수의 계수들이 갖는 유의성이 앞서 추정한 모형의 결과와 비교했을 때 다소 크게 감소하였다.

<표 3.4.10> 이원오차성분 고정효과 모형 추정 결과

독립변수	추정계수	표준오차	t	p-value
ln_1인당 주민세액	0.610	0.603	1.010	0.328
ln_재정자립도	0.580	1.150	0.500	0.621
ln_하천면적	0.376 **	0.156	2.410	0.029
ln_불투수면 면적	-0.310	0.249	-1.240	0.233
ln_지방정부 방재예산	-0.010	0.138	-0.070	0.943
ln_일 최대 강수량	-0.381	0.519	-0.740	0.474
ln_연 강수량	6.115 ***	1.401	4.370	0.001
상수	-27.035 ***	9.912	-2.730	0.016
관측값(N)	2724			
Adjusted R <sup>2</sup>	0.32			

\* p<0.1, \*\* p<0.05, \*\*\* p<0.01

### 2.3.2 확률효과 모형

이원오차성분모형 중 확률효과 모형은 두 가지 방향으로 추정할 수 있다. 지역에 대해서는 확률효과를 가정하고 시간에 대해서는 고정효과를 가정한 모형, 그리고 지역과 시간 모두 확률효과를 가정한 모형이다(표 3.4.11).

지역특성은 확률적으로 가정하고 시간특성은 고정한 확률효과 모형에서는 10% 유의수준에서 1인당 주민세액, 재정자립도, 하천면적, 지방정부 방재예산, 연 강수량 변

수가 유의미한 것으로 나타났다. 그리고 지역특성과 시간특성 모두 확률적으로 가정한 확률효과 모형에서는 1인당 주민세액, 재정자립도, 하천면적, 불투수면 면적, 지방정부 방재예산이 5% 유의수준에서 유의미하게 자연재해 총 피해액에 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 다만, 지방정부 방재 예산의 경우, 예상과는 다르게 양(+)의 관계를 가지는 것으로 나타났는데, 지방정부의 민방위방재항목에 대한 예산이 클수록 자연재해 피해 규모가 커진다는 의미이다. 이는 민방위방재사업의 내용과 사업기간 등 구체적인 정보가 없어 해석이 용이하지는 않지만, 지방정부가 사전적으로 자연재해 예방 및 투자 사업을 실행하기 보다는 자연재해 발생 후 피해 복구 사업 중심으로 실행하는 특징에서 기인할 수 있다.

<표 3.4.11> 이원오차성분 확률효과 모형 추정 결과

독립변수	확률효과 (지역확률, 시간고정)		확률효과 (지역확률, 시간확률)	
	추정계수	표준오차	추정계수	표준오차
ln_1인당 주민세액	0.508 **	0.223	0.428 ***	0.126
ln_재정자립도	-2.622 ***	0.791	-1.535 ***	0.246
ln_하천면적	0.501 **	0.211	0.194 ***	0.051
ln_불투수면 면적	0.879	0.726	1.384 ***	0.174
ln_지방정부 방재예산	0.388 **	0.163	0.178 **	0.085
ln_일 최대 강수량	-0.420	0.603	0.435	0.374
ln_연 강수량	5.725 ***	1.132	0.910	0.609
상수	-38.237 ***	12.751	-19.480 ***	4.231
관측값(N)	2724		2724	
Adjusted R <sup>2</sup>	0.36		-	

\* p<0.1, \*\* p<0.05, \*\*\* p<0.01

한편, 이원오차성분 모형에서도 고정효과와 확률효과 모형 중에 어떤 모형을 선택할 것인가에 대해서 하우스만 검정이 필요하다. 검정결과, p값이 0.05보다 작아 확률효과 모형보다 고정효과 모형이 적합한 것으로 나타났다(표 3.4.12). 즉, 시간특성과 지역특성 모두 고정된 값을 가지고 있음을 의미한다.



<표 3.4.12> 이원오차성분 모형에 대한 하우스만 검정 결과

독립변수	고정효과 (지역, 시간특성 고정)	확률효과 (지역, 시간특성 확률)
ln_1인당 주민세액	0.610	0.428
ln_재정자립도	0.580	-1.535
ln_하천면적	0.376	0.194
ln_불투수면 면적	-0.310	1.384
ln_지방정부 방재예산	-0.010	0.178
ln_일 최대 강수량	-0.381	0.435
ln_연 강수량	6.115	0.910
통계량	Ho: difference in coefficients not systematic	
	chi2(7)	= 160.78
	Prob>chi2	= 0.00

## 제 5 절 결정요인 고찰 및 가설검증

### 1. 자연재해 피해의 결정요인 고찰

지금까지 추정한 모형들의 결과를 종합하여 <표 3.5.1>에 정리하였다. 모형의 설명력은 0.5% ~ 36%로 추정되었으며, 이원오차성분모형 중 지역의 특성을 확률적으로 가정하고 시간특성을 고정한 확률I 모형이 가장 높은 설명력을 보여주었다.

<표 3.5.1> 모형추정 결과 종합

독립변수	일원오차성분모형				이원오차성분모형		
	고정 (지역)	고정 (시간)	확률 (지역)	확률 (시간)	고정	확률I	확률II
ln_1인당 주민세액	-2.248**	0.651**	-0.945***	0.590**	0.610	0.508**	0.428***
ln_재정자립도	2.838**	-3.039**	-1.068	-2.966***	0.580	-2.622**	-1.535***
ln_하천면적	0.271	0.387**	0.547**	0.393***	0.376**	0.501**	0.194***
ln_불투수면 면적	-0.084	1.269**	1.088	1.289**	-0.310	0.879	1.384***
ln_지방정부 방재예산	0.044	0.598**	-0.102	0.544**	-0.010	0.388**	0.178**
ln_일 최대 강수량	1.513**	-0.322	1.725**	-0.238	-0.381	-0.420	0.435
ln_연 강수량	5.080**	5.111**	4.050***	5.019***	6.115***	5.725**	0.910
상수항	-49.547**	-42.862**	-50.612***	-43.075***	-27.035***	-38.237**	-19.480***
Adjusted R <sup>2</sup>	0.05	0.16	0.21	0.16	0.18	0.36	-

\* p<0.1, \*\* p<0.05, \*\*\* p<0.01

주: 이원오차성분모형의 고정모형은 지역과 시간특성 모두 고정한 모형이며, 확률I은 지역특성은 확률, 시간특성은 고정한 모형이고 확률 II는 두 특성 모두 확률로 가정한 모형이다.

일원오차성분모형과 이원오차성분모형의 고정효과 및 확률효과에 대한 하우스만 검증 결과에 따르면, 전 후자 모두 고정효과 모형이 적합함을 확인하였다. 고정효과 모형 중에서는 이원오차성분모형이 가장 설명력이 높았으나, 지역 및 시간특성을 더 미변수로 처리하는 과정에서 자유도 손실이 높아 유의미한 계수가 적은 단점이 있다.

이에 일원고정효과 모형 중에서 최적 모형을 선택하는 것이 합리적일 것으로 판단하였고, 지역특성과 시간특성에 대한 가정의 현실성 그리고 추정계수의 유의성, 모형의 설명력을 고려하여 시간특성 고정효과 모형을 가장 타당한 모형으로 선택하였다.

독립변수들의 추정계수를 살펴보면, 연 강수량이 확률 II 모형을 제외한 모든 모형에서 유의미하게 자연재해 총 피해액에 영향을 미치며, 추정된 계수의 크기도 가장 커 그 영향력이 상당한 것으로 나타났다. 본 연구에서 선택한 시간특성 고정효과 모형에 따르면, 연 강수량이 1% 증가할 때 자연재해 총 피해액은 5.11% 증가한다. 반면, 강우강도를 나타내는 일 최대 강수량은 부호도 일정하지 않았으며, 유의미한 계수를 보여 준 경우에도 연 강수량의 추정계수보다 그 크기가 작았다. 이러한 결과는 일 최대 강수량 변수는 자연재해 피해 규모에 미치는 시간적 범위가 연강수량과 비교했을 때 매우 짧아서 그 영향이 가변적일 가능성이 높은 반면, 1년이라는 시간적 특성을 가진 연강수량은 자연재해 피해 규모에 안정적으로 영향을 주어 더 높은 영향력을 행사하는 것으로 판단된다.

재정자립도 변수는 다양한 모형에서 유의미한 계수를 보여주었으며, 자연재해 피해와 (-)부호로 영향을 주는 경향이 약간 우세하였다. 시간특성 고정효과 모형에 따르면, 재정자립도가 1% 증가할 때 자연재해 총 피해액은 3.04% 감소하는 것으로 나타났다. 이는 지방정부가 재정적으로 중앙정부에 의존하는 정도가 낮고 재정 상황이 양호할수록 자연재해에 독자적인 대응이 가능하며, 이는 곧 자연재해 피해 규모를 저감하는데 기여할 수 있음을 시사한다.

불투수면 면적 변수는 대부분의 모형에서 (+) 부호의 추정계수를 나타내었으며, 시간특성 고정효과 모형에 따르면, 불투수면 면적이 1% 증가할 때, 자연재해 총 피해액은 1.27% 증가하는 것으로 분석되었다. 불투수면 면적은 도시화 요인으로서 투수층을 충분히 확보하지 않고 불투수면 면적을 적절하게 관리하지 않으면 자연재해에 취약한 지역이 될 수 있음을 시사한다.

1인당 주민세액은 확률 II모형을 제외한 모든 모형에서 (+) 부호를 유지하였으며, 유의미하게 자연재해에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 시간특성 고정효과 모형 결과에서 1인당 주민세액이 1% 증가할 때 자연재해 피해는 0.65% 증가하는 것으로 해석할 수 있다. 소득수준이 높은 만큼 개인이 자연재해를 예방하고 대응하기 위한 장비, 시설, 설비 투자로 이어지지 않고, 자산의 집적과 가치 상승으로 인해 자연재해 총 피해액과 양(+)의 부호를 갖게 된 것으로 판단된다.

하천면적의 경우, 모든 모형에서 양(+)의 부호를 일관되게 유지하여 하천면적이 클수록 자연재해 피해 규모도 증가하는 것으로 나타났다. 본 연구에서 최종 선정한 시간특성 고정효과 모형에 따르면, 하천면적이 1% 증가할 때, 자연재해 총 피해액은 0.39% 증가하는 것으로 분석되었다.

한편, 지방정부 방재예산은 대부분의 모형에서 양(+)의 부호가 다소 우세하게 나타났으며, 예상과는 반대되는 방향으로 자연재해 피해에 영향을 미치고 있었다. 지방정부가 향후 발생 가능한 자연재해에 대하여 사전적으로 예방 및 투자 사업을 실행하기 보다는 자연재해 발생 후 피해 복구 사업 중심으로 실행하는 특징에 따른 것으로 판단된다.

자연재해 피해의 결정요인을 고찰한 결과, 사회경제적 수준, 도시화 정도, 기후 요인이 유의미하게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 기후요인이 가장 큰 영향력을 가지고 있으나 통제하기 어려운 변수임을 고려할 때, 도시화에 대한 적절한 관리가 향후 자연재해 피해 규모를 줄이는데 기여할 수 있을 것이다.

## 2. 가설 검증 및 시사점

227개 시군구를 대상으로 2001년부터 2012년까지의 패널데이터를 구축하고 패널 회귀분석을 통해 자연재해 피해의 결정요인을 고찰한 결과를 바탕으로 앞서 설정한 가설에 대하여 검증 및 시사점을 분석하였다.

첫 번째 가설은 자연재해 피해를 결정하는 요인으로 기후 요인이 가장 크게 영향을 미치는가에 대한 것이다. 이 가설을 검증하기 위해 본 연구에서는 자연재해 피해에 영향을 주는 기후 요인을 강도 측면과 강우 규모 측면으로 살펴보았다. 강우강도를 나타내는 변수로 일 최대 강수량, 강우 규모를 나타내는 변수로 연 강수량을 적용하였다. 패널회귀분석 결과, 연 강수량이 자연재해 피해에 유의미한 영향을 미치고 있으며, 가장 큰 영향력을 행사하고 있음을 확인하였다. 이와 같이 기후요인이 자연재해 피해 규모에 가장 많은 영향을 미치는 결과는 Pielke and Downton(2000), 최충익(2004)의 실증분석 결과와도 일치한다.

두 번째 가설은 자연재해 피해를 결정하는 요인으로 사회경제적인 특징이 자연재해 피해 규모의 차이를 가져오는가에 대한 것이다. 본 연구에서는 사회경제적 요인으

로 개인의 소득수준과 지방정부의 재정수준에 따라 지역의 자연재해 피해액 규모가 달라질 수 있는지 분석하였다.

개인의 소득수준을 나타내는 1인당 주민세액을 활용하여 분석한 결과, 자연재해 피해 규모를 증가시키는 방향으로 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉, 소득수준이 높을수록 자연재해로 인한 피해액이 크다는 뜻으로, 자연재해에 대응하기 위한 개인의 노력으로 자연재해 피해가 줄어드는 효과보다는 가치가 높은 자산으로 인해 상대적으로 피해가 더 커지는 영향이 다소 우세한 것으로 나타났다. 또한 아무리 소득이 높더라도 자연재해로 인한 피해 규모가 크고 범위가 넓어 개인이 통제하고 관리할 수 있는 부분이 상당히 제한적일 수밖에 없는 것으로 보이며, 그만큼 자연재해의 예방과 관리를 위해서는 정부의 역할이 중요함을 간접적으로 시사한다.

지방정부의 재정적 상황을 나타내는 재정자립도 변수를 살펴본 결과, 자연재해 피해 규모에 (-)부호의 방향으로 유의미하게 영향을 미치는 것을 확인하였다. 추정계수의 절대값으로 비교하면, 기후요인인 연강수량 다음으로 재정자립도가 자연재해 피해 규모에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 재정자립도가 1% 증가하면, 자연재해 총 피해액은 3.04% 감소한다. 실제 자연재해 발생 후에 중앙정부의 지원이 상당한 비중을 차지하는 것은 사실이지만, 자연재해 피해 규모는 시간차에 따라서도 달라질 수 있기 때문에 중앙정부의 지원 전에 지방정부가 재정적인 능력을 갖추고 독자적으로 신속하게 대응할 필요가 있다. 특히 본 연구에서 일원오차 지역특성 고정효과 모형에서 행정구역별 특성을 고찰한 결과에서도 강원도, 제주도, 전라남북도, 충청북도 등이 상대적으로 다른 지역보다 자연재해 피해가 증대되는 지역 고유의 특성을 갖고 있는 것으로 확인되었다. 결국 자연재해 예방 및 복구의 주체인 지방정부의 재정 규모와 활용 능력, 그리고 자연재해 관리 정책이 중요하며, 이러한 주장은 자연재해관리 정책에서 지역의 고유한 특성을 반영하고 지방정부의 역할을 강조한 Godschalk(2003), 최충익(2004), 임정순(2005)의 결과와 맥락을 같이한다.

이와 같이 개인과 지방정부로 구분하여 사회경제적 요인이 자연재해 피해규모에 미치는 영향을 종합해보면, 개인의 소득이 높을수록 자연재해 피해규모는 커지고 지방정부의 재정자립도가 높을수록 자연재해 피해규모는 감소하는 상반된 결과를 보여 주었다. 선행연구들의 결과에서도 소득과 자연재해와의 관계는 (-)와 (+) 부호가 혼재되어 있으며, Kallenberg and Mobarak(2008)는 기존 선행연구들이 선형적 관계를 가정한 것과 달리 비선형적 관계의 가능성을 제시하며, 이 둘의 관계가 역 U자 모양

을 가진다는 결과를 제시하였다. 따라서 소득 수준과 자연재해 피해규모와의 관계는 단정적으로 결론을 짓기보다는 대상지역의 사회경제적 특성과 재해의 종류 등을 종합적으로 고려하여 여러 가지 해석이 가능하며 향후 연구에서는 보다 정교한 방법으로 이 둘의 관계를 들여다보는 것도 필요하다.

세 번째 가설은 도시화 과정에서 나타난 토지이용의 변화가 자연재해 피해에 영향을 미치는가에 대한 것이다. 본 연구에서는 불투수면 면적으로 도시화가 자연재해에 미치는 영향을 확인한 결과, 불투수면 면적이 1% 증가하면 자연재해 총 피해액은 1.27% 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같이 도시화의 영향으로 자연재해에 대한 취약성이 가중될 수 있음을 보여준 Changnon(2003), Teng et al.(2006), Nirupama and Simonovic(2007)의 결과와 일치한다. 특히 기후요인이나 사회경제적 요인은 정책적으로 통제하기 어려운 것과 달리, 도시화 요인은 도시계획 및 관리, 규제정책 등으로 통제할 수 있는 여지가 존재한다는 점에서 주목해야 한다. 즉, 자연재해 예방 및 관리 정책에서 도시계획의 중요성을 확인하였으며, 자연재해에 회복력(resilience) 있는 사회로 나아가기 위해서는 불투수면 면적을 최소화하고 지속적으로 투수층을 확보하는 도시계획 및 관리 정책이 필요하다. 그리고 기후변화와 기후변동으로 인한 불확실성이 증가하는 상황에서 이러한 도시계획과 정책의 필요성과 가치는 더욱 증가할 것으로 예상된다.

네 번째 가설은 자연재해 예방 정책과 자연재해 피해액 간의 관계에 대한 것이다. 본 연구에서는 지방정부의 세출 결산자료 중 민방위방재 항목에 지출된 금액을 자연재해 예방과 관련되어 있는 예산으로 해석하여 자연재해와의 관계를 살펴보았다. 그 결과, 예상과는 달리 지방정부의 방재예산 규모가 1% 증가하면 자연재해 총 피해액은 0.6% 증가하는 것으로 나타났다. 이는 사후복구 중심의 정책으로 인해 상대적으로 자연재해 예방을 위한 노력이 미미하며, 자연재해 피해액을 감소시킬 만큼 충분한 예산 투입이 이루어지지 않고 있는 것으로 보인다. 즉, 정부의 자연재해 관리 정책이 사후복구 중심으로 이루어지고 있는 현주소를 간접적으로 파악할 수 있었다.

자연재해 피해의 결정요인에 대한 가설을 검증한 결과를 토대로 본 연구는 다음과 같은 정책적 시사점을 제시할 수 있다.

첫째, 기후요인이 자연재해 피해 결정에 매우 유의미한 영향을 미치며 가장 큰 영향력을 행사한다. 기후 요인이 통제가 불가능한 점과 기후변화로 인해 강수량의 규모와 강도에 대한 불확실성이 증가하는 상황을 고려할 때, 사후복구 중심의 자연재해

관리 및 정책을 유지한다면 예측불가능한 상당한 규모의 자연재해 피해를 겪을 수 있음을 시사한다. 기후변화로 인해 점점 더 예측이 어렵다고 해서 수수방관하는 자세로 자연재해로 인한 피해를 모두 겪고 복구하는데 치중한다면, 최악의 경우 회복할 수 없는 상태로 파괴되어 엄청난 비용을 치를 가능성도 있다. 따라서 향후 발생 가능한 자연재해 피해 규모와 파급효과를 예측하는 시도가 필요한 시점이며, 이러한 예측을 통해 사회구성원들에게 위기관리의 필요성과 안전의식을 제고시킬 수 있고 예방 중심의 자연재해 관리 정책을 유도할 수 있다.

둘째, 개인의 소득수준 향상으로 자연재해 피해 규모가 커질 수 있는 반면, 지방정부의 재정적 상황이 양호하면 자연재해 피해를 감소시킬 수 있다. 소득수준의 향상이 자연재해를 증가 또는 감소시키는 결과가 공존하는 상황에서, 지방정부의 재정적 능력에 따라 자연재해 피해 규모가 달라질 수 있음을 확인하였다. 자연재해 발생 시 중앙정부의 관리와 지원이 있지만, 자연재해 예방 및 복구의 주체인 지방정부의 재정이 자연재해 피해 규모를 저감시키는데 중요한 역할을 할 수 있음을 시사한다. 따라서 지방정부는 중앙정부의 지원에만 의존할 것이 아니라 한정된 재정을 효율적으로 사용할 수 있어야 하며, 재정의 규모도 자체적으로 늘리려는 노력이 필요하다. 중앙정부도 자연재해 예방 중심으로 자연재해 정책의 패러다임을 변화시켜 지방정부의 자연재해 관리계획의 변화를 유도해야 한다. 또한 중앙정부에서 모든 자연재해 상황을 통제하고 관리하는 것도 중요하지만, 해당 지역의 지방정부가 효율적으로 자연재해에 대응할 수 있도록 정책적 지원도 필요하다.

셋째, 불투수면 면적을 증가시키는 토지이용의 변화가 자연재해 피해를 증가시킬 수 있다. 기후 요인과 다르게 토지이용 계획, 도시계획은 통제가 가능한 요인으로 앞으로 자연재해 관리 정책에 시사하는 바가 크다. 특히 복구 중심의 자연재해 관리 정책이 예방 중심으로 변화가 필요한 시점에서 기후변화에 대한 적응 능력을 향상시키는데 도시계획 및 관리 정책이 갖는 중요성은 더욱 증대될 것으로 예상된다. 향후 도시계획은 투수층을 늘리고 불투수면을 줄이는 방향으로 수립되어야 하며, 이를 통해 사전적으로 자연재해 피해를 저감할 수 있을 것이다.

넷째, 지방정부의 방재예산 변수가 유의미한 추정계수를 보여주지 못해 재해예방 활동과 자연재해 피해액과의 관계는 확인하지 못하였다. 유의미하지는 않지만, 예상과는 반대로 비교적 일관되게 양(+)의 방향을 나타내 지방정부의 방재예산이 클수록 자연재해 피해는 오히려 증가할 가능성도 있는 것으로 보인다. 이는 실제로는 복구활동

에 예산이 투입되어 나타난 결과일 가능성도 다소 있으며, 향후 연구에서 보다 적절한 변수를 검토하고 선정할 필요가 있다.

지금까지 살펴본 자연재해 피해의 결정요인을 고찰한 결과, 기후 요인이 가장 큰 영향력을 보여주었으며, 기후변화로 인해 그 영향력의 크기는 앞으로 더 커질 가능성이 높다. 이는 향후 자연재해 피해 규모가 증가하고, 증가폭도 기후변화로 인해 과거의 경험치보다 더 클 수 있음을 시사한다. 기후현상에 대한 예측이 쉽지 않고 기후변화라는 불확실성이 더해져 어려운 상황이지만, 향후 자연재해 피해 규모가 어떻게 변화할지 예측하는 노력은 여전히 필요하다. 미래에 발생 가능한 위험과 위기를 사전에 인지하고 미리 취약한 부분을 보완하고 강화시킨다면, 아무런 예측과 준비 없이 맞이한 경우와 비교했을 때의 자연재해 피해 규모는 분명히 차이가 있을 것이다. 이에 본 연구는 다음 장에서 향후 발생 가능한 자연재해 피해액을 추정하여 제시하고자 한다.



## 제 4 장 자연재해 피해액 추정

### 제 1 절 패널데이터의 수정 및 기술통계분석

제 3 장에서 227개 시군구를 대상으로 구축한 패널모형을 향후 발생 가능한 자연재해 피해액 추정에도 적용하려고 하였으나, 두 가지 측면에서 부적합하다고 판단하였다. 첫째, 시군구 단위의 행정구역이 변화하는 과정에서 통폐합 또는 분리된 시군구를 제외하였기 때문에 자연재해 피해액의 총 합계와 차이가 있다. 둘째, 앞서 추정한 패널회귀모형의 설명력이 16%로 낮아 예측값을 도출하는데 다소 부족하다. 이에 본 연구는 향후 발생 가능한 자연재해의 직접피해액을 추정하기 위해 자연재해 피해액의 총 합계와 일치하고 누락된 지역이 없는 16개 시도를 대상으로 패널데이터를 구축하고 보다 설명력 있는 모형을 구축하고자 한다.

#### 1. 16개 시도 패널데이터 구축

제 3 장에서 227개 시군구 패널데이터를 구축할 때 선정한 종속변수와 독립변수를 동일하게 적용하되 시군구 단위의 자료가 없어 대체되었던 ‘1인당 주민세액’과 ‘하천면적’은 ‘1인당 지역내총생산’과 ‘하천연장’으로 변경하였다(표 4.1.1).

〈표 4.1.1〉 자연재해 피해액 추정을 위한 패널모형의 변수

구분	자연재해 결정요인 고찰을 위한 패널모형	자연재해 피해액 추정을 위한 패널모형
종속변수	ln_자연재해 총 피해액	ln_자연재해 총 피해액
사회경제적 요인	ln_1인당 주민세액	ln_1인당 지역내총생산
	ln_재정자립도	ln_재정자립도
자연적 요인	ln_하천면적	ln_하천연장
도시화 요인	ln_불투수면 면적	ln_불투수면 면적
정책적 요인	ln_지방정부 방재예산	ln_지방정부 방재예산
기후 요인	ln_일 최대 강수량	ln_일 최대 강수량
	ln_연 강수량	ln_연 강수량

종속변수는 자연재해 총 피해액, 독립변수는 사회경제적 요인, 자연적 요인, 도시화 요인, 정책적 요인, 기후 요인으로 구성하였으며, 선형회귀식으로 표현하면 다음과 같다.

$$DC_{it} = \alpha + \beta_1 grdp_{it} + \beta_2 finance_{it} + \beta_3 river_{it} + \beta_4 impervious_{it} + \beta_5 prevention_{it} + \beta_6 maxprcp_{it} + \beta_7 annprcp_{it} + u_{it}$$

종속변수는 자연재해 총 피해액(DC)이며, 재난통계와 재해연보에 기록된 ‘총 피해액’을 말하며 단위는 백만 원이다.  $\alpha$ 는 상수항,  $\beta$ 는 독립변수의 추정계수이다.  $u_i$ 는 독립적이고 분산이 동일한 오차항이다. 선행연구 및 이론적 검토를 통해 사회경제적 요인으로는 1인당 지역내총생산(grdp, 단위: 백만 원)과 재정자립도(finance), 자연적 요인으로는 하천연장(river, 단위:km), 도시화 요인으로는 불투수면 면적(impervious, 단위:  $km^2$ ), 정책적 요인으로는 지방정부 방재예산(prevent, 단위: 백만 원), 기후 요인으로 일 최대강수량(maxprcp, 단위: mm/일), 연 강수량(annprcp, 단위: mm)을 선정하였다.

자연재해 피해액 추정을 위한 패널데이터의 공간적 범위는 16개 시도로, 서울특별시, 부산광역시, 대구광역시, 인천광역시, 광주광역시, 대전광역시, 울산광역시, 경기도, 강원도, 충청북도, 충청남도, 전라북도, 전라남도, 경상북도, 경상남도, 제주도가 포함된다.

시간적 범위는 종속변수와 독립변수 자료들이 최장으로 교차되는 2001년부터 2012년까지로 총 12년 동안이다. 결과적으로 16개 시도에 대한 12년 동안의 종속변수와 독립변수 값이 결합된 총 관측치 192개의 균형패널데이터가 구축된다.

자료의 출처는 변경된 변수인 지역내총생산과 하천연장에 대해서만 추가적으로 살펴해보았다. 사회경제적 요인인 1인당 지역내총생산은 국가통계포털과 산업연구원(2004)을 활용하면 1965년부터 2012년까지 확보할 수 있으며, <표 3.3.3>의 GRDP디플레이터를 이용하여 2005년 기준의 불변가격으로 환산하여 적용한다. 하천연장은 국토교통 통계누리(<http://www.stat.molit.go.kr>)에서 2001년부터 2012년까지 제공하고 있다.

## 2. 기술통계분석

본 연구에서 구축한 192개 관측치의 균형패널데이터에 대해서 기술통계분석을 통해 자연재해 피해에 대한 지역별 특성을 전반적으로 살펴보고자 한다(표 4.1.2).

16개 시도 자연재해 총 피해액의 평균은 1,146억 원이고, 최대 피해액은 약 3조 1,109억 원을 기록하였다. 12년 동안 16개 시도 1인당 지역내총생산의 평균은 1,900만 원으로 산출되었다. 한편, 하천연장의 평균은 1,894 km이며, 불투수면 면적의 평균은 407.52 km<sup>2</sup>에 달했다. 지방정부의 방재예산은 평균 1,198억 원이고, 재정자립도는 평균 50.24로 나타났다. 기후 요인의 경우, 16개 시도의 평균 일 최대 강수량은 183 mm이고, 연 강수량의 평균은 1,080 mm로 산출되었다.

<표 4.1.2> 기술통계분석 결과

변수	기술통계량				
	최소값	최대값	평균	왜도	관측값(n)
자연재해 총 피해액(백만 원)	0	3,110,942	114,677	5.9	192
1인당 지역내총생산(백만 원)	10	46	19	1.6	192
하천연장(km)	109	4,666	1,894	0.2	192
불투수면 면적(km <sup>2</sup> )	95	1,283	407.52	0.7	192
지방정부 방재예산(백만 원)	12,535	525,793	119,899	1.8	192
재정자립도	19	96	50.24	0.2	192
일 최대 강수량(mm)	54	870	183	2.7	192
연 강수량(mm)	504	2,055	1,080	0.4	192

<표 4.1.3> 로그변환 후 기술통계분석 결과

변수	기술통계량				
	최소값	최대값	평균	왜도	관측값(n)
ln_자연재해 총 피해액	0.00	21.86	15.56	-0.5	192
ln_1인당 지역내총생산	2.35	3.83	2.91	0.8	192
ln_하천연장	4.69	8.45	6.87	-0.1	192
ln_불투수면 면적	3.99	6.77	5.11	0.0	192
ln_지방정부의 방재 예산	9.44	13.29	11.41	0.1	192
ln_재정자립도	4.56	7.16	5.74	-0.9	192
ln_일 최대 강수량	-0.50	2.33	1.13	0.0	192
ln_연 강수량	2.97	4.57	3.81	-0.1	192

16개 시도 패널데이터의 안정성을 확보하기 위해 변수에 로그를 적용하였으며, 기초통계량이 전반적으로 안정된 모습을 보여 모형 추정에 큰 무리가 없을 것으로 판단된다(표 4.1.3).

### 3. 상관관계 분석

자연재해 총 피해액과 7개의 독립변수 사이, 그리고 독립변수들 간에 존재하는 상호 영향 정도를 살펴보고자 피어슨 상관관계 분석을 하였다(표 4.1.4).

<표 4.1.4> 피어슨 상관관계 분석 결과

	자연재해 총 피해액	1인당 지역내 총생산	하천연장	불투수면 면적	지방정부의 방재 예산	재정 자립도	일 최대 강수량	연 강수량
자연재해 총 피해액	1.000							
1인당 지역내 총생산	-0.145**	1.000						
재정자립도	-0.421***	-0.021	1.000					
하천연장	0.525***	-0.021	-0.717***	1.000				
불투수면 면적	0.470***	0.027	-0.477***	0.873***	1.000			
지방정부의 방재 예산	0.131*	-0.052	0.013	0.298***	0.523***	1.000		
일 최대 강수량	0.525***	-0.147**	-0.355***	0.431***	0.361***	0.136*	1.000	
연 강수량	0.525***	-0.128*	-0.257***	0.337***	0.270***	0.156**	0.655***	1.000

\* p<0.1, \*\* p<0.5, \*\*\* p<0.01

주: 로그변환한 변수들에 대한 상관관계 분석임.

상관관계 분석 결과, 지방정부의 방재예산을 제외한 모든 독립변수들이 자연재해 총 피해액과 1% 유의수준에서 상관관계를 보여주었다. 1인당 지역내총생산과 재정자립도 변수만 음(-)의 부호로 나왔고, 나머지 독립변수들은 자연재해 총 피해액과 양(+)의 상관관계를 보였다. 다만, 지방정부의 방재 예산 변수의 경우, 자연재해 총 피

해액과 음(-)의 관계를 보여줄 것이라는 예상과 달리 양(+)의 상관관계를 나타내었다. 가장 높은 상관관계는 하천연장, 일 최대 강수량, 연 강수량으로 모두 0.5 이상으로 자연재해 총 피해액이 자연환경과 기후 요소와 관련이 어느 정도 있음을 보여주었다.

지금까지 자연재해 패널데이터에 대한 기술통계분석과 상관관계 분석 결과를 기초로 자연재해 피해액 추정을 위한 패널 모형을 구축하고자 한다.

## 제 2 절 자연재해 피해액 추정을 위한 패널회귀모형

### 1. 16개 시도 패널데이터의 안정성 검정

패널회귀분석에 앞서 사용하고자하는 16개 시도의 패널데이터가 안정적인지(stationary) 검정하였다. Levin, Lin and Chu(2002)의 방법에 의해 패널 단위근을 검정한 결과는 <표 4.2.1>과 같이 모든 변수가 단위근을 갖고 있지 않아 안정적인 것으로 확인되었다.

<표 4.2.1> 패널데이터의 단위근 검정 결과(p-값)

변수		통계량	p-value
종속변수	ln_자연재해 총 피해액	3.607	0.000
사회경제적 요인	ln_1인당 지역내총생산	-5.297	0.000
	ln_재정자립도	81.267	0.000
자연적 요인	ln_하천연장	32.179	0.000
도시화 요인	ln_불투수면 면적	233.299	0.000
정책적 요인	ln_지방정부 방재 예산	-3.945	0.000
기후 요인	ln_일 최대 강수량	8.902	0.000
	ln_연 강수량	8.754	0.000

### 2. 패널회귀모형의 추정

자연재해 피해액을 추정하기 위해 본 연구는 사회경제적 요인으로 1인당 지역내총생산과 재정자립도, 자연적 요인으로 하천연장, 도시화 요인으로 불투수면 면적, 정책적 요인으로 지방정부의 방재 예산, 기후 요인으로 일 최대 강수량과 연 강수량을 선택하였다. 자료의 분산을 줄이고 안정적인 계수 추정을 위해 종속변수와 독립변수에 로그를 취하여 자연대수식으로 모형을 설정하였다.

$$\ln(DC_{it}) = \alpha + \beta_1 \ln(grdp_{it}) + \beta_2 \ln(finance_{it}) + \beta_3 \ln(river_{it}) + \beta_4 \ln(impervious_{it}) + \beta_5 \ln(prevention_{it}) + \beta_6 \ln(maxprcp_{it}) + \beta_7 \ln(annprcp_{it}) + u_{it}$$

본 연구는 우선적으로 16개 시도 패널데이터를 이용하여 데이터의 구조가 패널구조라는 사실을 무시하고 합동OLS 모형을 추정하였다(표 4.2.2).

<표 4.2.2> 합동OLS 추정 결과

독립변수	추정계수	표준오차	t	p-value
ln_1인당 지역내총생산	-0.906	0.685	-1.320	0.186
ln_재정자립도	-0.107	1.360	-0.080	0.937
ln_하천연장	1.041	0.876	1.190	0.235
ln_불투수면 면적	0.137	1.190	0.120	0.908
ln_지방정부 방재 예산	-0.328	0.308	-1.060	0.287
ln_일 최대 강수량	1.984 ***	0.726	2.730	0.006
ln_연 강수량	4.119 ***	1.041	3.960	0.000
상수	-24.316 **	10.499	-2.320	0.021
관측값(N)	192			
Adjusted R <sup>2</sup>	0.44			

\* p<0.1, \*\* p<0.05, \*\*\* p<0.01

16개 시도 패널데이터로 추정된 합동OLS 모형에 대한 이분산성과 자기상관 존재 여부를 각각 LR 검정과 Wooldridge 검정을 통해 확인하였다(표 4.2.3). LR 검정결과, 오차항의 분산이 동일하다는 귀무가설이 1% 유의수준에서 기각되어 오차항의 분산이 서로 다른 이분산성이 존재하는 것으로 확인되었다. Wooldridge 검정결과, p값이 0.05보다 커서 5% 유의수준에서 1차 자기상관이 존재하지 않는다는 귀무가설이 기각할 수 없어 자기상관이 존재하지 않는다.

<표 4.2.3> 이분산성과 자기상관 검정 결과

구분	내용			
이분산성 (존재)	lrtest ur_model r_model, df(15)			
	Likelihood-ratio test	LR chi2(15)	=	126.42
		Prob > chi2	=	0.000
자기상관 (존재하지 않음)	Wooldridge test for autocorrelation in panel data			
	H0: no first order autocorrelation			
		F(1, 15)	=	3.271
		Prob > F	=	0.091

16개 시도 패널데이터에 대한 일원오차 고정, 확률, 이원오차 고정, 확률 모형을 추정한 결과를 종합하면 <표 4.2.4>와 같다. 독립변수의 추정계수들을 살펴보면, 연강수량이 모든 모형에서 1% 유의수준 하에서 유의미하게 자연재해 피해액에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 모든 모형에서 유의미한 계수를 보여주지는 못했지만, 일 최대 강수량, 재정자립도, 지방정부 방재예산, 불투수면 면적이 비교적 일관된 부호의 추정계수를 갖는 것으로 확인되었다. 반면, 1인당 지역내총생산 모든 모형에서 유의미한 계수를 갖지 못했다. 모형의 설명력은 35% ~ 53%로 추정되었으며, 이원오차성분모형 중 지역의 특성을 확률적으로 가정하고 시간특성을 고정한 확률I 모형이 가장 높은 설명력을 보여주었다.

<표 4.2.4> 모형추정 결과 종합

독립변수	일원오차성분모형				이원오차성분모형		
	고정 (지역)	고정 (시간)	확률 (지역)	확률 (시간)	고정	확률I	확률II
ln_1인당 지역내총생산	-0.662	0.050	-0.906	-0.852	0.325	0.217	-0.964
ln_재정자립도	3.348	-1.713**	-0.107	-1.341**	-0.255	-1.520**	-0.616
ln_하천연장	2.597	0.150	1.041*	0.332	1.780	0.049	0.739
ln_불투수면 면적	-1.617	1.388	0.137	1.041	6.388	1.636**	0.494
ln_지방정부 방재 예산	-0.259	-0.264	-0.328	-0.343	-0.279	-0.262	-0.343
ln_일 최대 강수량	2.074***	0.829	1.984***	1.554**	1.013	0.971	1.934***
ln_연 강수량	3.892***	4.354***	4.119***	4.142***	4.702**	4.491***	4.127***
상수항	-38.500	-18.491*	-24.316**	-17.870**	-69.023	-22.176**	-21.809**
Adjusted R <sup>2</sup>	0.35	0.43	0.44	0.45	0.40	0.53	0.36

\* p<0.1, \*\* p<0.05, \*\*\* p<0.01

주: 이원오차성분모형의 고정모형은 지역과 시간특성 모두 고정한 모형이며, 확률I은 지역특성은 확률, 시간특성은 고정한 모형이고 확률 II는 두 특성 모두 확률로 가정한 모형이다.



한편, 고정효과와 확률효과 모형 중에 어떤 모형을 선택할 것인가에 대해서 하우스만 검정이 필요하다(표 4.2.5). 지역특성과 시간특성에 대한 고정효과와 확률효과 모형을 검정한 결과, p값이 0.05보다 커 확률효과로 추정하는 것이 더 적합하다. 이때 확률효과 모형에 대한 내생성 검증이 필요한데, 검증결과 지역특성 확률효과 모형은 내생성이 없는 것으로 확인되었지만 시간특성 확률효과 모형의 경우 내생성이 존재하여 고정효과 모형으로 추정하는 것이 필요하다. 그리고 이원오차성분 모형에서도 고정효과와 확률효과 모형 중에 어떤 모형을 선택할 것인가에 대해서 하우스만 검정이 필요하다. 검정결과, p값이 0.05보다 커 확률효과 모형이 고정효과 모형보다 적합한 것으로 나타났다.

<표 4.2.5> 하우스만 검정 결과

독립변수	일원(지역)		일원(시간)		이원	
	고정	확률	고정	확률	고정	확률
ln_1인당 지역내총생산	-0.662	-0.906	0.050	-0.852	0.325	-0.964
ln_재정자립도	3.348	-0.107	-1.713	-1.341	-0.255	-0.616
ln_하천연장	2.597	1.041	0.150	0.332	1.780	0.739
ln_불투수면 면적	-1.617	0.137	1.388	1.041	6.388	0.494
ln_지방정부 방재 예산	-0.259	-0.328	-0.264	-0.343	-0.279	-0.343
ln_일 최대 강수량	2.074	1.984	0.829	1.554	1.013	1.934
ln_연 강수량	3.892	4.119	4.354	4.142	4.702	4.127
통계량	Ho: difference in coefficients not systematic					
	chi2(7)	= 3.59	chi2(7)	= 1.22	chi2(7)	= 2.06
	Prob>chi2	= 0.825	Prob>chi2	= 0.9904	Prob>chi2	= 1.000
확률모형 내생성 검증	Ho: difference in coefficients not systematic					
	chi2(7) = 3.95		chi2(7) = 16.14		chi2(7) = 2.42	
	Prob>chi2 = 0.785		Prob>chi2 = 0.024		Prob>chi2 = 0.933	
	지역특성은 확률		시간특성은 고정		지역, 시간특성 모두 확률	

이상에서 16개 시도 패널데이터의 일원오차성분모형과 이원오차성분모형의 고정효과 및 확률효과에 하우스만 검정 결과를 종합해보면, 지역특성은 확률이 적합하고, 시간특성은 고정 또는 확률 모두 적합함을 확인하였다. 본 연구는 모형의 설명력, 지역특성과 시간특성에 대한 가정의 현실성 그리고 추정계수의 유의성 등을 고려하여 이원오차성분모형에서 지역특성은 확률, 시간특성은 고정시킨 확률I 모형을 자연재해 피해액 추정을 위한 가장 타당한 모형으로 선택하였다.

### 제 3 절 자연재해 피해액 추정

#### 1. 독립변수에 대한 가정과 자료수집

본 연구에서 구축한 자연재해 피해액 회귀모형을 적용하여 미래의 자연재해 피해액을 추정하고자 한다. 이를 위해서는 미래시점에 독립변수의 값들을 구하고, 구축한 자연재해 피해액 회귀모형에 대입하여야 한다. 독립변수별로 미래시점의 값을 구하기 위해 전망 자료를 조사하거나, 자료가 없는 경우 선행연구 및 이론적 검토를 통해 합리적으로 가정하고자 노력하였다.

자연재해 피해액 회귀모형에서 활용할 사회경제적 요인은 1인당 지역내총생산과 재정자립도이다. 1인당 지역내총생산의 경우, 시도별로 장기적인 지역내총생산 성장률 자료는 존재하지 않지만, 국내총생산 성장률을 전망한 자료는 OECD, 한국개발연구원 등 국내외 여러 기관에서 제공하고 있다. 본 연구에서는 OECD가 점진적인 구조개혁과 재정건전화를 시나리오로 구성하여 자체 모형을 통해 예측한 2060년까지의 국가별 국내총생산 성장률 자료를 사용하였다. <표 4.3.1>과 같이 한국의 국내총생산은 2011년부터 2030년까지는 연간 2.7%, 2030년부터 2060년까지는 연간 1.0% 성장할 것으로 전망되었다. OECD가 전망한 국내총생산 성장률을 16개 시도의 2012년 지역내총생산(2005년 기준 불변가격)에 동일하게 적용하여, 2013년부터 2060년까지의 지역내총생산을 산출하였다.

<표 4.3.1> OECD가 전망한 한국의 국내총생산 성장률(1995년-2060년)

1995-2011	2011-2030	2030-2060	2011-2060
4.6%	2.7%	1.0%	1.6%

자료: OECD, 2012

지역내총생산과 더불어 인구증가에 대한 전망자료를 적용하여 1인당 지역내총생산을 도출해야 한다. 인구자료는 통계청에서 작성한 ‘장래인구추계’를 활용할 수 있으며, 전국 총인구에 대해서는 2060년까지, 시도별 인구에 대해서는 2040년까지 작성되어 있다. 이 두 자료를 활용하여 2040년까지는 시도별 인구성장율을 적용하고 2041

년부터는 전국 인구성장율을 적용한다. 즉, 2041년부터 2060년까지는 전국 인구성장율을 16개 시도에 동일하게 적용하여 시도별 인구수를 도출하였다. 이와 같이 도출된 인구수로 앞서 추정된 지역내총생산을 나누어 1인당 지역내총생산을 최종적으로 추정하였다.

한편, 재정자립도는 지방정부가 자연재해 관리 및 정책과 관련하여 독립적인 재정 운용 가능성을 살펴보기 위한 대리변수로 적용하였다. 재정자립도의 개념과 특징을 고려했을 때, 정책적으로 높이거나 감소시키는 것은 부자연스러우며 예측하기가 쉽지 않아 2012년의 각 지역별 재정자립도가 향후에도 동일하게 유지되는 것으로 가정하였다.

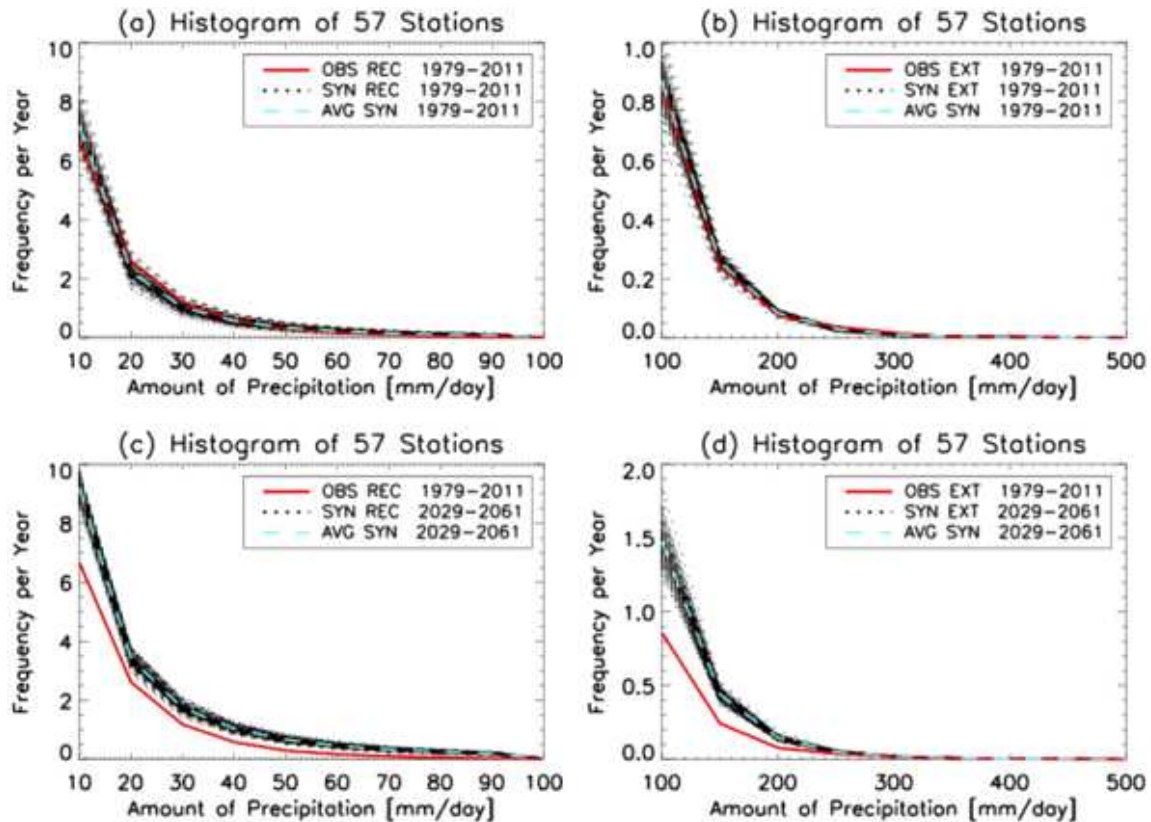
자연적 요인에는 하천연장이 포함되었다. 하천연장은 하천법령에 의한 하천의 시점과 종점간의 거리를 말한다. 하천은 자연환경을 구성하는 한 부문으로써 갑작스럽게 새로운 하천이 생기거나 소멸하지는 않는다. 그리고 하천개발사업으로 인해 하천연장이 증감할 수는 있으나, 그 변동값이 크지 않을 것으로 판단하였다. 따라서 2012년도의 16개 시도별 하천연장을 고정된 불변값으로 가정하였다.

도시화 요인인 불투수면 면적은 도시계획 및 관리에 따라 적절히 규제하지 않는다면 당분간 지속적으로 증가할 가능성이 다소 높은 것으로 판단된다. 다만, 그 증가 규모를 가늠하기가 쉽지 않아, 2012년도의 불투수면 면적만큼 고정된 것으로 가정하였다.

정책적 요인인 지방정부의 방재 예산도 향후 변화를 예측하기가 어려워 2012년 값이 유지되는 것으로 가정하였다.

자연재해 피해액 회귀모형에서 기후 요인은 일 최대 강수량과 연 강수량이며, 기상청 등 관련기관에서 산출한 강수량 예측치를 활용할 수 있다. 기상청의 예측값과 더불어 미래의 일 최대 강수량을 예측한 선행연구들이 몇몇 있지만, 본 연구에서는 Kim et al.(2013)의 자료를 활용하고자 한다.

기상청의 미래 강수량, 강우강도 예측자료를 검토한 결과, 기후변화 시나리오를 반영하여 예측한 연평균 강수량, 호우강도가 이미 관측된 과거 강수량들의 연평균값, 호우강도와 비교했을 때, 오히려 값이 작아 다소 신뢰하기 힘든 자료로 판단하였다. 또한 Kim et al.(2013)의 연구에서도 기상청에서 예측한 향후 강수량 자료가 다소 문제가 있음을 실증적으로 보여주었다. 반면, Kim et al.(2013)에서 개발한 모델은 기상청 모델 보다 과거 관측값에 가깝게 재현하였다(그림 4.3.1).



<그림 4.3.1> 예측된 강수량과 관측 강수량의 히스토그램 비교

주: 위쪽 그림은 1979년부터 2011년까지 관측치와 날씨생성기를 통해 재현한 강우강도를 비교 (a) 일 강수량 100 mm 미만인 날을 기준으로 비교 (b) 일 강수량이 100 mm 이상인 날을 기준으로 비교.

아래쪽 그림은 2029년부터 2061년까지의 날씨생성기로 예측된 강우강도를 과거 관측치와 비교 (c) 일 강수량 100 mm 미만인 날을 기준으로 비교 (d) 일 강수량이 100 mm 이상인 날을 기준으로 비교. 빨간색 선이 과거 관측치, 검은색 선이 날씨생성기를 100회 실행하여 추정한 강우강도, 파란색 선은 100회 실행한 값의 평균을 의미함.

자료: Kim et al.(2013)

Kim et al.(2013)의 연구에 대해서 구체적으로 살펴보면, 기상청 57개 지점에서 관측된 33년(1979년-2011년) 동안의 강수량 자료를 바탕으로 미래의 강수량을 예측할 수 있는 날씨 생성기(weather generator)를 개발하였다. 이 날씨 생성기는 CycloStationary Empirical Orthogonal Function(CSEOF) 기법과 자기회귀이동평균모형(Autoregressive Moving Average)을 적용하여 개발되었고, 이를 통해 1979-2061년(83년)까지 100개의 새로운 강수량 자료를 생성하였다.

생성된 강수량 자료를 과거 관측치와 비교한 결과, 여름철 강수량의 전형적인 첨두강수량 형태를 잘 묘사하였고, 강우강도별 빈도수도 관측치의 것과 유사한 것으로 나타났다. 반면, 기상청의 자료는 여름철 강수량의 첨두강수량을 유의미하게 과소추정

하였으며, 극한강도의 강수량 빈도수도 과소추정하는 것으로 나타났다. 이러한 선행연구 검토를 통해 본 연구에서는 Kim et al.(2013)에서 산출한 2013년부터 2061년까지의 57개 관측지점별 100개의 강수량 자료를 사용하기로 한다.

## 2. 자연재해 피해액 추정 결과

앞 절에서 미래의 자연재해 피해액 추정을 위한 독립변수들의 예측치를 확보하였으며, 시간적 범위를 종합한 결과, 추정이 가능한 미래시점은 2060년까지이다. 그리고 앞서 살펴본 Kim et al.(2013)에서 추정한 100개의 강수량 자료를 활용하여 57개 관측소별로 100개의 강수량 중 최대값을 도출하였다. 도출된 최대값을 57개 관측소의 행정구역을 기준으로 16개 시도에 적용하였다. 관측소의 개수가 행정구역 수보다 많기 때문에 일부지역은 2개 이상의 강수량 값을 가지며, 이때 최소값, 평균값, 최대값으로 나누어 자연재해 피해액 추정에 적용한다.

일 최대 강수량과 연 강수량의 최소값, 평균값, 최대값을 적용하여, 2013년부터 2060년까지 48년 기간 동안에 발생 가능한 자연재해 피해액을 추정하였다. 강수량 최소값을 적용했을 때, 발생 가능한 자연재해 피해액의 최대 가능금액은 6조 9,450억 원, 강수량 평균값을 적용했을 때는 최대 가능 피해액은 12조 1,350억 원, 강수량 최대값을 적용했을 경우 최대 가능 피해액은 23조 6,650억 원에 이르는 것으로 나타났다(표 4.3.2). 과거 기록상 자연재해 피해액의 최대값인 6조 7,660억 원과 비교했을 때, 향후 자연재해 피해액은 최대 2.5배까지 증가할 가능성이 있는 것으로 추정된다.

<표 4.3.2> 향후 발생 가능한 연간 자연재해 피해액(명목)의 최소값, 평균값, 최대값

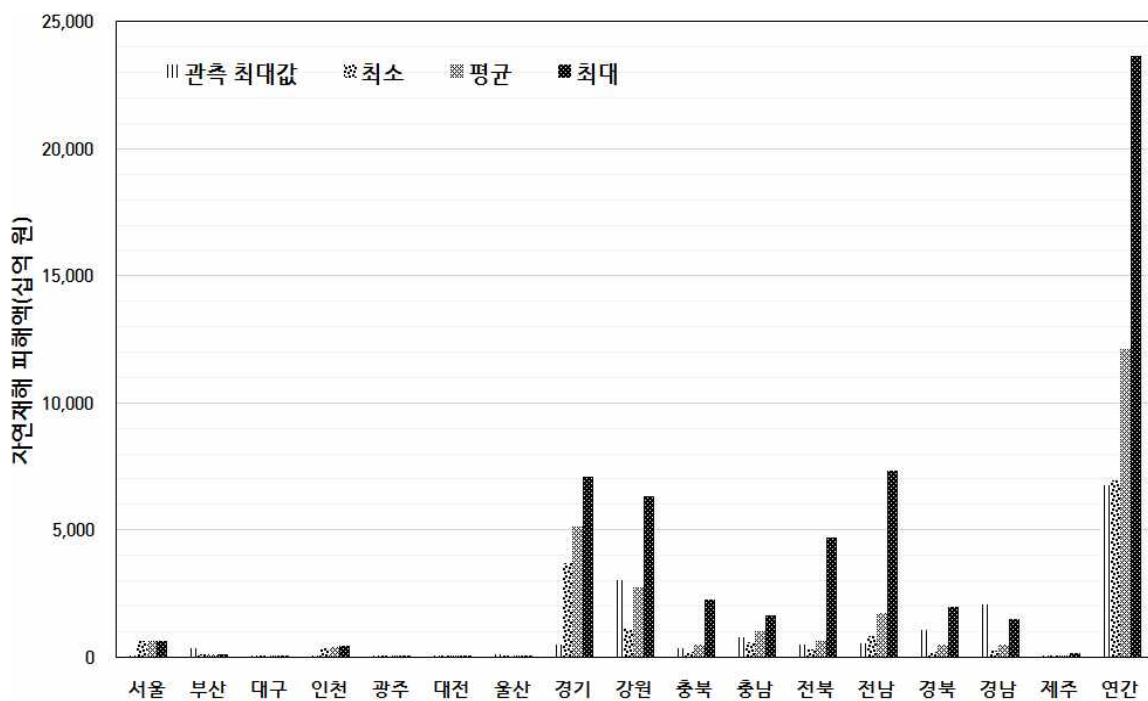
피해액(단위: 십억 원)				증감율	
추정			관측 최대값(c)	평균(a/c)	최대(b/c)
최소값	평균값(a)	최대값(b)			
6,945	12,135	23,665	6,766	79%	250%

16개 시도별로 발생 가능한 자연재해 피해액의 최대 가능금액을 도출하면, <표 4.3.3>과 같다. 서울, 부산, 대구, 광주, 대전, 울산의 경우, 행정구역 위치상 관측소가 1개만 존재하기 때문에 강수량의 최소값, 평균값, 최대값이 모두 동일하여 자연재해 피해액도 한 가지 값만 가지게 된다. 각 지역별로 과거에 관측된 자연재해 피해액의 최대값과 비교했을 때, 최대 시나리오에서 서울 인천, 경기, 충북, 전북, 전남 지역이 5배 이상 크게 증가할 가능성이 있는 것으로 나타났다. 특히 경기와 전남지역은 최악의 경우 자연재해 피해액이 최대 12배까지 늘어나 큰 피해가 예상된다. 반면, 부산, 대구, 광주, 대전, 울산, 경남 지역은 각 지역별 과거 최대 피해액과 비교했을 때, 향후 자연재해 피해액은 다소 감소하는 것으로 나타났다.

<표 4.3.3> 16개 시도별로 추정한 자연재해 피해액(명목)의 최소값, 평균값, 최대값

지역	피해액(단위: 십억 원)				증감율	
	추정			관측 최대값(c)	평균(a/c)	최대(b/c)
	최소값	평균값(a)	최대값(b)			
서울	651	651	651	67	877%	877%
부산	93	93	93	344	-73%	-73%
대구	11	11	11	77	-85%	-85%
인천	350	386	424	64	499%	558%
광주	41	41	41	68	-40%	-40%
대전	51	51	51	69	-25%	-25%
울산	26	26	26	116	-77%	-77%
경기	3,719	5,111	7,083	515	893%	1276%
강원	1,122	2,745	6,327	3,027	-9%	109%
충북	203	515	2,262	331	56%	584%
충남	597	1,001	1,622	797	26%	104%
전북	285	645	4,692	507	27%	826%
전남	841	1,726	7,331	561	208%	1208%
경북	181	499	1,978	1,047	-52%	89%
경남	229	484	1,511	2,070	-77%	-27%
제주	31	64	174	79	-19%	120%

<그림 4.3.2>는 16개 시도별로 추정된 자연재해 피해액의 최소값, 평균값, 최대값과 관측된 최대값을 비교한 것이다. 이 그림을 통해 확인할 수 있는 가장 두드러진 특징은 왼쪽에 위치한 서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산 등 대도시의 자연재해 피해액이 상당히 낮다는 것이다. 서울, 인천의 자연재해 피해액이 과거 최고 피해액 대비 5배 이상 증가할 것으로 추정되었지만, 절대적인 규모를 보면 다른 지역보다 자연재해 피해액 규모가 매우 작다. 반면, 전남, 전북, 강원도와 같은 대도시가 아닌 지역의 경우, 향후 자연재해 피해액의 증가율도 높고, 절대적인 규모도 월등히 크다.



<그림 4.3.2> 16개 시도별 자연재해 피해액(명목)의 관측값과 추정값 비교

이는 본 연구에서 227개 시군구 패널데이터와 16개 시도 패널데이터로 추정한 패널모형에서 공통적으로 유의미한 추정계수를 가진 재정자립도, 불투수면 면적, 연 강수량의 영향에서 비롯된 것으로 판단된다. 즉 지방의 광역자치체와 비교했을 때, 불투수면 면적 비율은 높지만 규모는 작고, 재정자립도가 훨씬 높으며 연강수량은 상대적으로 낮은 대도시 지역은 자연재해 피해액이 크게 증가하지 않는 것으로 추정되었다. 반면, 불투수면 면적 비율은 낮지만 규모는 크고, 재정자립도가 낮으며 지리산, 대관령 주변 산간지대와 같은 지형적 특성으로 연강수량이 높은 전북, 전남, 강원도 지역은 자연재해 피해액이 크게 증가하는 것으로 예측되었다.



한편, 부산, 대구, 광주, 대전, 울산, 경남 지역은 향후 자연재해 피해액이 크게 줄어드는 것으로 나타났는데, 재정자립도와 연강수량의 영향이 큰 것으로 보인다. 2013년부터 2060년까지 추정된 지역별 연 강수량의 평균값을 비교한 결과, 대구, 울산, 부산, 광주, 대전 지역의 연강수량이 하위권으로 다른 지역보다 연 강수량이 적었다(표 4.3.4). 또한, 앞서 피해규모가 클 것으로 예측된 전남, 전북, 강원도는 상위권에 위치하여 연 강수량이 많은 지역에서 향후 자연재해 피해액이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 서울, 인천, 경기도의 경우, 향후 연강수량 평균값이 상위권에 있지만, 재정자립도가 높은 영향으로 자연재해 피해액이 크게 증가하지는 않는 것으로 추정된다.

<표 4.3.4> 지역별 평균 연강수량(2013-2060), 재정자립도 비교

지역	(+) 자연재해 평균 연강수량(mm) (2013년-2060년)	지역	(-) 자연재해 재정자립도
강원	2623	전남	21
경기	2339	전북	26
인천	2424	강원	27
서울	2384	경북	28
충북	2158	제주	29
전북	1995	충북	34
전남	2025	충남	36
제주	1944	경남	43
경남	1932	광주	47
충남	1830	대구	53
경북	1829	부산	57
대전	1778	대전	58
광주	1716	인천	71
부산	1616	울산	71
울산	1627	경기	73
대구	1571	서울	90

### 3. 추정된 자연재해 피해액의 현재가치

지금까지 살펴본 자연재해 피해액은 명목가격이며, 할인율을 적용하여 2015년 현재가치로 변환하고자 한다. 할인율의 결정은 다소 주관적인 선택이 작용하며 사회적으로 완전한 동의를 얻기가 어려운 문제이다. 이에 본 연구에서는 연구의 목적과 의의를 고려하고 관련 선행연구들을 참고하여 합리적인 범위 내에서 최선의 할인율을 선택하고자 한다.

2015년 현재, 우리나라를 분석대상으로 한 연구와 보고서에서 미래시점의 비용과 편익을 현재가치화하기 위해 적용되는 할인율은 한국개발연구원 공공투자관리센터에서 제시한 5.5%이다. 그러나 본 연구는 기후변화 적응 차원에서 향후 강수특성의 변화를 반영하여 미래 시점의 자연재해 피해액을 추정한 것이기 때문에 국가의 주요사업의 타당성 분석에 적용하는 할인율을 적용하는 것은 다소 적절하지 않다고 판단하였다. 기후변화 완화와 적응과 관련된 문제는 일반적인 공공투자사업보다 미래세대와 현재세대 간의 형평성이 첨예하게 대립하며, 경제적으로 보상할 수 없는 회복 불가능한 가치를 다루고 있기 때문이다.

한편, 기후변화에 따른 영향을 경제학적으로 분석한 선행연구에는 대표적으로 Stern(2006)이 있으며, 순수 시간선호도, 소득의 한계효용 탄력도, 1인당 국내총생산 증가율로 구성된 Frank Ramsey의 공식에 따라 할인율을 추정하였다.

$$\text{할인율}(r) = \text{순수 시간선호도}(\delta) + \text{소득의 한계효용 탄력도}(\gamma) \times \text{1인당 국내총생산 증가율}(g)$$

Stern(2006)는 순수시간 선호도, 0.1, 소득의 한계효용 탄력도 1, 그리고 1인당 국내총생산 증가율의 평균 1.3을 대입하여 기후변화의 경제학적 분석에 평균 1.4%의 할인율을 적용하였다. 이 1.4%의 할인율에 대해서 많은 논란이 있는 것이 사실이나, 할인율에 관한 논쟁은 논리적으로 해결할 수 있는 과학적 문제가 아니라 가치판단의 문제로 보는 것이 적절하며, 본 연구는 1.4%의 할인율이 전체적으로 수긍할 수 있는 범위 내에 있다고 판단하였다. 기후변화관련 문제는 최소 50년 이상 장기적인 영향을 미치고 관련된 비용과 편익이 수백 년 지속될 수 있기 때문에 상대적으로 단기적인 공공투자사업에 적용하는 할인율보다 낮게 설정하는 것이 합리적인 것으로 보인다.

본 연구에서는 최종적으로 Stern(2006)의 할인율 설정 방식을 선택하였고, 1인당

국내총생산 증가율에 대해서는 앞서 언급한 OECD(2012)가 제시한 우리나라의 국내총생산 증가율을 활용한다. 그 결과, 2013년부터 2060년까지의 할인율은 평균 2%이며, 이를 적용하여 향후 발생 가능한 연간 자연재해 피해액, 16개 시도별 자연재해 피해액의 최소값, 평균값, 최대값을 2015년 시점의 현재가치로 환산하였다(표 4.3.5).

<표 4.3.5> 향후 발생 가능한 자연재해 피해액의 2015년 기준 현재가치(단위: 십억 원)

구분		최소값	평균값	최대값
연간		3,088	5,395	12,020
지 역	서울	289	289	289
	부산	47	47	47
	대구	5	5	5
	인천	156	171	189
	광주	17	17	17
	대전	22	22	22
	울산	16	16	16
	경기	1,643	2,258	3,130
	강원	499	1,220	2,813
	충북	103	261	1,149
	충남	250	419	679
	전북	142	322	2,340
	전남	419	861	3,657
	경북	76	209	828
	경남	106	224	699
	제주	14	30	81

본 연구는 2013년부터 2060년까지 예측된 강수량의 최소값, 평균값, 최대값을 16개 시도별로 적용하여 향후 발생 가능한 자연재해 피해액의 범위를 추정하였다. 그 결과, 전남, 전북, 강원도, 경기도의 자연재해 피해액이 크게 증가하는 것으로 예측되었다. 그리고 향후 발생 가능한 연간 자연재해 피해액은 2015년 기준 현재가치로 최소 3조 880억 원에서 최대 12조 200억 원으로 추정되었다.

본 연구에서 추정한 연간 자연재해 피해액의 최대가능금액 12조 200억 원은 2014

년 국내총생산 1,342조의 0.9%에 해당하는 규모이며, 국내의 자연재해 피해액 추정  
에 관한 연구가 충분히 축적되지 않아 선행연구와 직접적으로 비교하기는 힘든 상황  
이다. 하지만, IPCC(2012)의 국내총생산 대비 자연재해 피해액이 선진국의 경우  
0.1% 이하이고 저소득 국가는 0.3%인 반면, 중간소득 국가는 약 1%에 달하는 것으  
로 분석하였는데, 본 연구의 결과에 따르면 우리나라는 선진국보다는 중간소득 국가  
에 해당하는 것으로 풀이된다. 즉, 우리나라의 경우 자산의 가치는 고소득 국가 수준  
정도로 높는데, 자연재해에 대응하는 사회경제적 시스템은 선진국의 수준에 못 미쳐  
자연재해에 대한 취약성이 높고 회복력이 낮은 상황으로 보인다.

지금까지 분석하고 추정한 내용은 자연재해로 발생할 수 있는 1차적 피해액의 규  
모를 추정한 것이며, 제 5 장에서는 추정된 자연재해 피해액을 연산일반균형모형에  
적용하여 자연재해의 2차적 파급효과를 분석한다.

## 제 5 장 자연재해의 경제적 파급효과 분석

자연재해 피해는 직접적인 피해와 간접적인 피해, 즉 2차적 파급효과로 구분할 수 있으며, 제 5 장에서는 앞서 패널모형을 통해 추정한 직접피해액을 활용하여 향후 자연재해가 경제에 미칠 수 있는 파급효과를 연산일반균형모형을 통해 분석한다.

국내에서도 연산일반균형모형을 통해 자연재해의 경제적 파급효과를 분석한 선행연구가 존재한다(류문현 등 2012; 홍종호 등, 2014). 지금까지의 국내 선행연구들은 단일 국가와 다부문 산업으로 구성된 모형을 적용하여 국가경제와 산업부문에 자연재해가 미치는 영향을 분석하였다. 그리고 그러한 결과들이 향후 자연재해 예방투자 및 복구예산 지원 수준 등에 대한 의사결정을 지원할 수 있다고 주장하였다. 하지만 자연재해 관리의 실제적인 주체가 지방정부임을 고려했을 때, 국가단위의 분석결과가 자연재해 관리를 위한 정책과 예산계획에 대한 의사결정에 기여할 수 있는 범위는 제한적일 수밖에 없다. 이에 본 연구에서는 다지역 연산일반균형모형을 통해 국가단위는 물론 지역단위의 경제와 산업 활동 등에 미치는 파급효과를 분석하여 중앙정부는 물론 지방정부의 자연재해 관리 및 정책에 기여할 시사점을 도출하고자 한다. 다지역 연산일반균형모형의 적용을 위해 본 연구는 지역의 사회경제적 특성을 고려하여 6개의 권역으로 공간적 범위를 설정하였다(표 5.1.1).

<표 5.1.1> 지역의 분류

지역	시도	지역	시도
수도권	서울특별시, 인천광역시, 경기도	경북권	대구광역시, 경상북도
충청권	대전광역시, 충청북도, 충청남도	경남권	부산광역시, 울산광역시, 경상남도
호남권	광주광역시, 전라북도, 전라남도	강원제주권	강원도, 제주도

수도권은 서울, 인천, 경기도, 충청권은 대전, 충북, 충남, 호남권은 광주, 전북, 전남, 경북권은 대구, 경북, 경남권은 부산, 울산, 경남이며 강원도와 제주도를 묶어 강원제주권으로 분류하였다. 강원제주권은 지리적으로 거리가 있어 집중호우, 태풍 등 자연현상이 동일한 시점에 발생할 가능성이 낮지만, 본 연구에서 활용한 다지역 연산일반균형모형 자체가 자연재해 발생시점을 세분화하여 적용할 수 있는 구조가 아니고 모든 지역에서 2005년 시점에 자연재해 피해가 발생하는 것으로 가정하여 파급효과를 분석하기 때문에 지리적으로 떨어져 있다는 것이 크게 문제가 되지는 않을 것으로 판단된다. 또한 본 연구의 목적이 자연재해가 미치는 경제적 파급효과를 분석하는 것에 중점을 두고 있기 때문에 관광, 서비스 산업이 두드러지게 발달한 강원도와 제주도를 하나의 권역으로 묶는 것이 가능하고, 제 4 장에서 자연재해의 직접피해액을 추정할 때, 각 지역에 해당하는 강우 예측자료가 각각 적용되었기 때문에 강원제주권으로 묶더라도 지역의 강우특성이 반영되어 있으므로 아주 무리한 설정은 아니라고 말할 수 있다. 사실 엄밀하게 접근하면, 기후변화로 인해 국지성 집중호우가 증가하고 극한 강도의 이상기후 현상이 증가하는 점을 고려했을 때, 지리적으로 인접한 지역을 하나의 권역으로 분류하는 것도 점점 강한 가정을 필요로 하는 상황이며, 가장 이상적인 방법은 가능한 한 지역을 세분화하는 것이다. 그러나 연산일반균형모형이 계산해낼 수 있는 범위가 무한하지는 않기 때문에 적절한 수준의 지역 분류가 바람직하다. 결과적으로 본 연구는 6개의 권역으로 지역을 분류하여 자연재해의 경제적 파급효과를 분석하기로 한다.

이와 같은 배경을 바탕으로 제 5 장은 다지역 정태 연산일반균형모형, 그리고 기초자료인 사회계정행렬을 구축하고, 앞서 추정된 향후 발생 가능한 직접피해액을 근거로 시나리오를 구성하여 파급효과를 분석한다.

## 제 1 절 다지역 정태 연산일반균형모형

### 1. 연산일반균형모형

#### 1.1 연산일반균형모형의 개념 및 특징

일반균형이란 생산자, 소비자, 정부 등 다양한 경제 주체들이 경제활동에 대한 합리적 의사결정과 행동으로 경제자원이 넘치거나 부족하지 않은 균형을 이룬 상태를 말한다. 즉 소비자는 효용을 극대화하고 생산자는 이윤을 극대화하여 시장의 수요, 공급, 가격 등이 더 이상 증감하지 않을 때 일반균형에 도달했다고 말한다. 일반균형에서는 생산자 또는 소비자의 한쪽 측면만 보는 것이 아니라 소비자와 생산자 양자 모두의 경제활동을 다룬다. 따라서 일반균형이론을 토대로 하여 정책의 경제적 효과를 평가한다면 정책의 성장, 분배 등 다양한 속성을 이해하고 정책 대안도 다각도로 검토할 수 있는 장점이 있다(김의준, 2009).

일반균형이 이론적으로는 가능하였지만, 초기에는 수요, 공급, 가격 등의 일반균형점을 수리적으로 계산할 수 없었기 때문에 정책 및 경제 분석에 활용할 수 없었다. 이러한 계량적 문제는 1970년대 알고리즘이 개발되면서 해결되었다. 그때부터 일반균형이론은 더 이상 이론적인 차원에 머물지 않고 정책의 계량적 분석에 활용되기 시작하였다. 이러한 실천적이고 응용할 수 있는 일반균형모형을 특별히 ‘연산’일반균형모형으로 구별하여 불렀다. 1980년대 GAMS, GEMPECK 등 다양한 소프트웨어가 발표되면서 연산일반균형모형의 개발 수준은 급속도로 향상되었다. 현재 연산일반균형모형이 활용되고 있는 정책 분야는 경제개발 분야에서 토지, 주택, 사회기반시설, 국가교역(FTA 포함), 환경 및 자원(예를 들어 환경세, 에너지 대체 등), 재정, 자연환경 및 재난 등으로 확대되고 있다(김의준, 2009).

연산일반균형모형의 가장 큰 특징은 다부문모형(multisectoral model)이라는 점이다. 다부문이란 모형의 경제주체가 소비자, 생산자, 정부, 해외 부문 등 다양하고, 생산자도 하나가 아니라 농업, 광업, 제조업, 건설업, 서비스업 등 여러 가지로 구분될 수 있다는 것을 의미한다. 연산일반균형모형은 이러한 다부문과 일반균형이라는 특성 때문에 경제 주체 간의 상호 연계를 고려하여 정책의 직접적 효과와 간접적 효과를 나누어서 추정한다(김의준, 2009)

또한, 연산일반균형모형은 생산자의 이윤 극대화와 소비자의 효용 극대화 등 경제

주체의 합리적인 행위를 가정하고 있으므로 정책이 변할 경우 소비자나 생산자가 어떻게 반응할지를 파악하고 정책지표라고 할 수 있는 사회적 후생 수준 변화도 따져 볼 수 있다. 즉 연산일반균형모형에 해가 존재한다면 외부 충격이 발생했을 경우 새로운 균형점 도출이 가능하다. 이러한 연산일반균형모형은 산업연관분석과 사회계정행렬 분석의 핵심적인 가정인 선형성이 아니기 때문에 경제가 내재적으로 가지고 있는 비선형성 반영이 가능하다는 특징이 있다(김의준, 2009). 지금까지 살펴본 연산일반균형모형의 장점과 단점을 다른 경제분석 모형과 비교하여 <표 5.1.2>에 정리하였다.

<표 5.1.2> 경제분석 모형별 장단점

모형	장점	단점
투입 산출 모형	-산업간 관계고려 -단순한 계산 과정	- 경제 현상의 비선형성 반영 못함 - 가격 변동을 설명하지 못함 - 산업 간 관계 고정 - 다양한 정책의 효과를 설명하지 못함
사회 계정 행렬	-외생부문을 내생화 -경제 주체별 효과 설명	- 경제 현상의 비선형성 반영 못함 - 가격 변동을 설명하지 못함 - 산업 간 관계 고정 - 자료의 구축이 힘들 - 주관적인 결과 가능
연산 일반 균형 모형	-외생부문을 내생화 -경제 현상의 비선형성 반영 -가격 변동 설명 가능 -다양한 정책에 대한 효과 분석 가능	- 모형의 안정성 확보 힘들 - 자료의 구축이 힘들 - 파라미터의 값에 따라 결과 변동이 큼

자료: 전북발전연구원, 2010

연산일반균형모형이 기존 경제분석 모형보다 장점이 있는 것은 분명하지만, 복잡한 경제현상을 모형으로 설정하여 분석하는데 비확률적(stochastic)모형이라는 점에서 비판이 제기되고 있다. 연산일반균형모형은 일반적으로 구조와 계산과정이 복잡하여 적용이 힘들고 사전적으로 정의된 많은 모수 값들을 사용해야하는 단점을 갖고 있으며, 사전적으로 추정된 모수에 의해서 추정된 파급 효과가 결정되는 경향이 다소 강한 점은 연산일반균형모형의 한계로 지적되고 있다.



## 1.2 연산일반균형모형의 유형

연산일반균형모형은 분석대상과 분석기간에 따라 구분할 수 있다. 분석대상을 기준으로 단일지역 연산일반균형모형과 다지역 연산일반균형모형으로 구분된다. 단일지역 연산일반균형모형은 특정 국가, 지역에 한정해서 정책의 효과를 분석하는 데 초점을 둔다. 반면, 다지역 연산일반균형모형은 여러 지역을 대상으로 하여 지역간 산업연관관계, 생산요소와 재화의 지역 간 이동을 모형 내에서 분석할 수 있다.

연산일반균형모형은 분석 기간에 따라서 정태(static) 모형과 동태(dynamic) 모형으로 구분한다. 정태 모형은 시간을 고려하지 않은 모형으로 단일 시점에 대한 효과를 분석할 수 있으며 동태 모형은 시간의 경과에 따른 정책 효과를 분석할 수 있는 모형으로 정책 실행에 따른 경제성장 경로의 변화를 예측할 수 있다. 동태모형은 다시 미래 예측가능성에 따라 축차적 동태모형(recursive dynamic model)과 통시적 동태모형(forward-looking model)로 구분할 수 있다. 축차적 동태모형은 소비자가 현재 경제 상태에 대한 정보를 바탕으로 그들의 효용을 극대화한다는 전제이며, 통시적 동태모형에서는 경제주체가 미래에 대해 완전한 예측이 가능하다는 가정을 바탕으로 한다.

본 연구에서 사용하는 연산일반균형모형은 다지역 연산일반균형모형으로 저축이 투자규모를 결정하는 구조이며, 2005년 단일시점을 기준으로 한 정태모형이다.

## 1.3 연산일반균형모형의 구축 과정

연산일반균형모형은 일반적으로 다음과 같은 과정을 거쳐 구축된다. 첫째, 분석대상이 되는 경제문제에 대한 이론적 모형을 작성해야 할 것이다. 재화의 수, 생산요소의 수, 소비자의 수, 시장의 수, 분석 기간 등 분석 대상을 설정하는 단계이다. 예를 들면, 상품 소비 및 시장 수요자로서의 가계, 생산요소의 수요자이면서 상품 생산자인 기업, 가계와 기업으로부터 세금을 징수하여 자체 소비에 지출하거나 가계에 대한 이전지출 혹은 특정 산업부문을 육성하기 위한 보조금 및 저축투자에 사용하는 정부, 그리고 정해진 조건하에 국내시장을 해외시장과 연계하는 해외 부문 등이 있다(강상인과 김재준, 2007).

둘째, 경제주체들에 대한 가정을 바탕으로 최종 생산함수와 효용함수를 결정하는 과정이다. 이에는 또 자본축적과 인구구성, 또는 생산기술과 같이 주어진 시점에 경제주체의 의사결정에 영향을 미치는 외부요건들에 대한 제약식들이 추가된다. 이렇게

주어진 제약 조건하에서 효용과 수입을 극대화하거나 비용을 최소화하는 형태의 조건을 충족하는 해를 구한 뒤, 다양한 정책변수의 도입에 따라 변하는 균형해 값을 도출하고 경제적 의미를 해석하는 과정으로 진행된다(강상인과 김재준, 2007).

셋째, 사회계정행렬(social account matrix)을 구축한다. 사회계정행렬은 한 경제의 주어진 기간 동안(예, 1년)의 모든 경제 주체들의 경제적 거래를 보여주는데, 정상이윤 조건과 시장청산 조건, 소득균형 조건을 만족해야하며, 또한 각 부분별 미시 데이터는 거시변수와 일치해야 한다. 사회계정행렬의 셀 값은 모형의 해를 구하는데 필수적인 연립방정식체계의 파라미터들을 추정하는데 이용된다는 점에서 연산일반균형모형을 이용한 실증분석에서 가장 중요한 위치를 차지한다고 할 수 있다. 사회계정행렬은 기준년도의 산업연관표와 국민계정에 나타난 거시 경제변수 값들, 그리고 분석 목적에 필요한 인구, 환경 등 다양한 부문의 방대한 자료를 기초로 작성된다(강상인과 김재준, 2007).

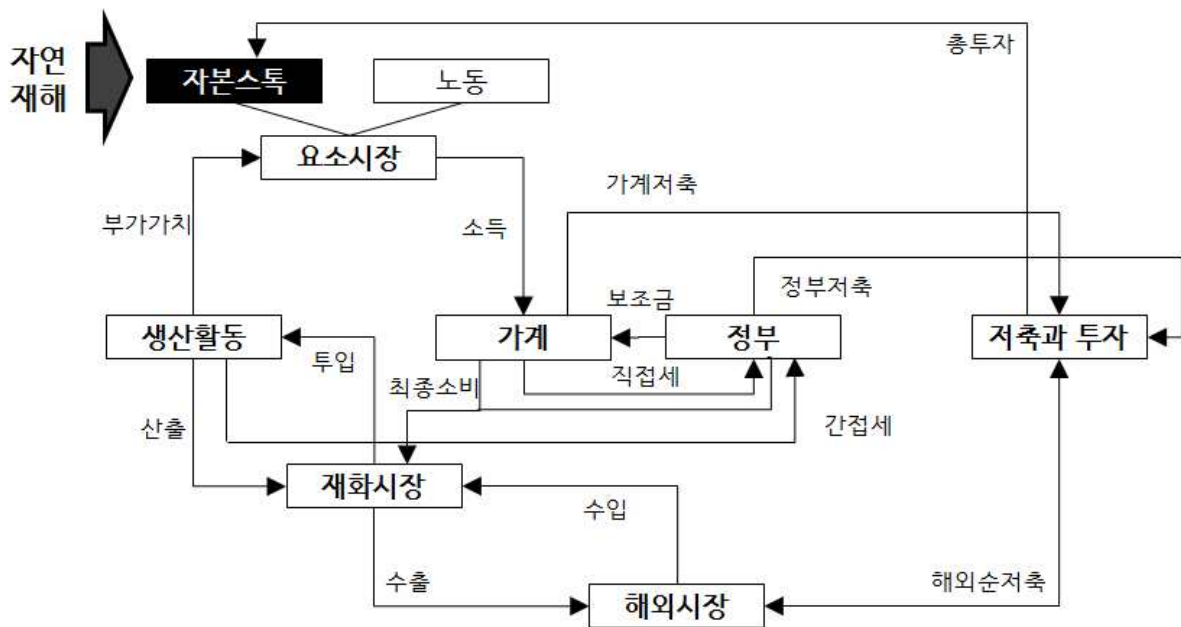
넷째, 보정(calibration) 과정이다. 이는 선택한 함수형태가 사회계정행렬과 일치하도록 모수를 조정하고 사회계정행렬 자료를 재생산하는지를 확인하는 것이다. 연산일반균형모형은 경제주체의 행동방정식과 시장균형방정식의 형태를 정해주는 구체적인 파라미터 값들을 필요로 하는데, 이러한 파라미터 추정은 기준년도의 경제가 균형상태에 있다고 가정하고, 그러한 균형을 가능케 하는 각 방정식의 파라미터 값을 역산하는 방법으로 진행된다. 행태방정식의 형태에 따라서는 사회계정행렬의 값들로부터 보정을 통해 일부 파라미터 값을 결정할 수 없는 경우가 있다. 이때의 해당 모수 값 추정은 선행연구 결과를 이용하거나 이론적 근거를 토대로 적절한 값을 선택하게 되는데, 이 과정에서 개입되기 쉬운 연구자의 자의적인 선택은 연산일반균형모형의 한계로 지적되고 있다. 주어진 파라미터 값들이 실측 자료가 내포하고 있는 경제의 균형을 정확하게 재현하는지를 확인하는 일치성 검증절차가 진행되는데, 이 과정을 벤치마킹(bench marking)이라 부른다(강상인과 김재준, 2007).

다섯째, 정책 모의실험 단계로서 정책변화에 따른 파급효과를 분석하는 과정이다. 특정 경제정책의 파급효과 분석은 조세 또는 보조금과 같이 모형 내에 반영된 다양한 정책변수나 저축률과 같은 외생변수 값의 변화를 적용하여 새로운 균형상태를 구하고, 양 균형상태를 나타내는 주요 내생변수 값들을 비교하고 분석함으로써 해당 정책의 파급효과를 확인하는 방식으로 진행된다(강상인과 김재준, 2007).

## 2. 다지역 정태 연산일반균형모형

### 2.1 다지역 정태 연산일반균형모형의 개요

본 연구에서 개발되는 모형은 기본적으로 경제 내의 총 저축이 총 투자를 결정하는 신고전적 연산일반균형모형이다. 다시 말해, 저축이 거시경제의 균형을 결정하는 모형(saving-driven model)이다. 그리고 본 연구는 여러 지역을 분석대상으로 하며, 단일 시점을 분석기간으로 하는 다지역 정태 연산일반균형모형이다.



<그림 5.1.1> 다지역 정태 연산일반균형모형의 구조

앞서 살펴본 연산일반균형모형의 개념과 특징을 고려할 때, 연산일반균형모형은 지역별 산업별 자연재해의 파급효과를 분석하기에 적합한 모형이라고 할 수 있다. 본 연구에서 개발되는 모형의 개념적 틀은 <그림 5.1.1>과 같으며, 모형에 적용할 외부 충격은 자연재해로 인해 자본스톡이 감소하는 설정이다.

구체적으로 설명하면, 자연재해로 인한 자본스톡의 감소는 자본가격의 상승을 유발하며, 이러한 가격상승은 상대적으로 자본집약도가 낮은 산업의 자본스톡량을 감소시키고 대신 노동으로 대체하게 만든다. 이와 같은 사회계정행렬을 통해 정해진 노동과 자본의 대체탄력성에 따라 각 산업별 자본스톡의 변화가 발생하고, 그로 인해 모형은 새로운 해를 도출하게 되어 자연재해 발생 이전과 이후의 경제적 변화, 즉 자연재해로 인한 경제적 파급효과를 분석할 수 있는 것이다.

본 연구의 분석 대상지역은 서울과 인천, 경기로 구성된 수도권, 대전, 충북, 충남의 충청권, 광주, 전북, 전남의 호남권, 대구, 경북으로 구성된 경북권, 부산, 울산, 경남을 포함 경남권, 강원, 제주를 묶어 강원제주권으로 총 6개 지역으로 한다.

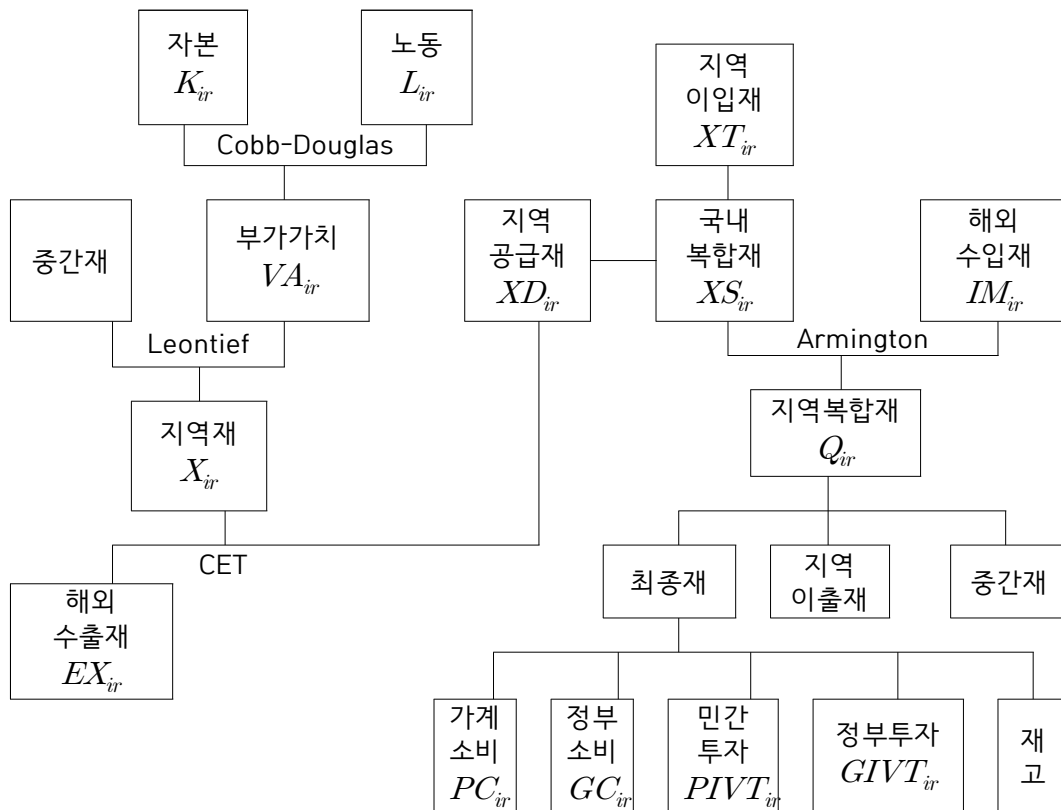
<표 5.1.3> 산업분류

산업연관표 분류코드		재분류
01	농림수산물	01 농림수산업
02	광산물	
03	음식료품	02 제조업
04	섬유 및 가죽제품	
05	목재 및 종이제품	
06	인쇄 및 복제	
07	석유 및 석탄제품	
08	화학제품	
09	비금속광물제품	
10	제1차 금속제품	
11	금속제품	
12	일반기계	
13	전기 및 전자기기	
14	정밀기기	
15	수송장비	
16	기타제조업제품	
17	전력,가스및수도	03 전력, 가스 및 수도
18	건설	04 건설
19	도소매	05 도소매 및 숙박
20	음식점 및 숙박	
21	운수 및 보관	06 운수 및 보관
22	통신 및 방송	07 통신 및 방송
23	금융 및 보험	08 금융 및 보험
24	부동산 및 사업서비스	09 서비스
25	공공행정 및 국방	
26	교육 및 보건	
27	사회 및 기타서비스	
28	기타	

<표 5.1.3>은 자연재해 피해액 중 공공시설에서 발생하는 비중이 큰 특징을 고려하여 산업연관표의 28개 산업을 9개로 재분류한 것이다. 1차산업으로 농림수산물, 광산품을 통합하여 농림수산업, 음식료품부터 기타제조업제품까지 제조업으로 통합하여 분류하였다. 그리고 공공시설을 대표할 수 있는 전력, 가스 및 수도산업, 건설업, 운수 및 보관산업, 통신 및 방송산업은 단독으로 분류하였다. 기타산업으로는 도소매 및 숙박산업, 금융 및 보험업, 서비스산업이 있다.

## 2.2 생산활동 부문

각 산업은 단일 재화를 생산하며, 생산된 재화는 해외시장으로 수출되거나, 국내에 공급되어 여러 지역 시장에서 소비된다. 지역시장에는 해당 지역에서 생산된 재화 이외에도 해외수입재, 타지역에서 생산된 재화도 존재하여, 지역내공급재, 해외수입재, 타지역이입재로 구성된다. 재화는 중간재와 부가가치(노동 및 자본)가 결합하여 생산되며 이때 중간재 투입은 레온티에프(Leontief) 함수, 부가가치는 수확불변함수인 콥-더글라스(Cobb-Douglas) 형태임을 가정한다(그림 5.1.2).



<그림 5.1.2> 재화의 생산과 배분

생산요소의 수요는 생산자의 이윤을 극대화할 수 있는 최적의 수준에서 결정되며, 생산요소의 지역간 이동에 대해서는 노동의 부가가치, 즉 임금은 지역 내에서는 동일하지만 지역 간에는 차이가 존재하며, 자본은 모두 완전이동이 가능하여 자본수익율은 모든 지역에서 동일한 것으로 가정한다.

국내복합재와 해외수입재로 구성되는 재화의 수요는 불완전한 대체관계가 존재하는데 이때 두 재화의 비중은 아밍톤(Armington) 함수로 결정된다.

### 2.2.1. 지역재 생산

중간재와 부가가치가 결합하여 생산되는 것이 지역재이다. 중간재와 부가가치는 서로 완전 보완관계에 있다고 가정하여 레온티에프(Leontief) 함수 형식으로 결정된다.

$$X_{i,r} = Min. \left[ \frac{ID_{1i,r}}{a_{1i,r}}, \frac{ID_{2i,r}}{a_{2i,r}}, \dots, \frac{ID_{ji,r}}{a_{ji,r}}, \frac{VA_{i,r}}{av_{i,r}} \right]$$

$a_{ji,r}$  :  $r$ 지역  $i$ 재화 생산에 투입되는  $j$ 재화 투입계수, (식 5-1)  
 $av_{i,r}$  :  $r$ 지역  $i$ 재화 생산에 투입되는 부가가치계수,  
 $X_{i,r}$  :  $r$ 지역  $i$ 산업의 지역재생산량,  
 $VA_{i,r}$  :  $r$ 지역  $i$ 산업 부가가치량,  
 $ID_{ji,r}$  :  $r$ 지역  $i$ 산업 생산에 투입되는 중간재  $j$ 의 양

부가가치는 생산 요소인 노동과 자본으로 구성되며, 이들 간의 관계는 대체탄력성이 1이라고 가정한 콥-더글라스 함수 형식으로 표현된다.

$$VA_{i,r} = ad_{i,r} \cdot L_{i,r}^{\alpha_{i,r}} \cdot K_{i,r}^{(1-\alpha_{i,r})}$$

$VA_{i,r}$  : 총부가가치량, (식 5-2)  
 $ad_{i,r}$  :  $r$ 지역  $i$ 산업의 총요소생산성,  
 $\alpha_{i,r}$  :  $r$ 지역  $i$ 산업의 노동의 생산탄력성계수,  
 $L_{i,r}(K_{i,r})$  :  $r$ 지역  $i$ 산업의 생산에 투입된 노동(자본)의 규모

노동투입량은 2005년 기준 한국은행의 지역표 통합대분류 고용표를 이용한다. 6개

지역 9개 산업별 취업자 수를 노동요소의 투입량으로 사용한다(표 5.1.4). 자본투입량은 2005년 기준의 6개 지역 9개 산업별 순자본스톡 자료가 필요하나, 한국은행의 경제활동별 순자본스톡자료는 지역에 대한 정보를 제공하지 않고 있다. 이에 본 연구에서는 지역별 산업별 자본스톡을 추정하였으며, 자세한 내용은 2.8에서 다루기로 한다.

<표 5.1.4> 지역별 산업별 노동투입량(단위: 명)

지역	농림 수산	제조업	전력 가스	건설	도소매	운수 /보관	통신 /방송	금융 /보험	서비스
수도권	258,191	1,488,333	21,228	755,583	2,040,092	517,750	87,264	294,031	2,758,277
충청권	371,147	356,718	10,417	189,650	384,890	78,217	12,619	44,022	497,134
호남권	530,248	245,035	9,737	166,117	401,554	84,315	14,933	56,587	480,995
경북권	277,596	408,949	10,356	145,365	415,729	82,110	11,544	51,451	458,585
경남권	244,281	693,611	15,740	241,507	654,279	159,786	18,712	79,979	693,437
강원 제주권	165,844	43,562	1,330	78,170	199,093	33,745	7,171	24,071	230,751
합계	1,847,307	3,236,208	68,808	1,576,392	4,095,637	955,923	152,243	550,141	5,119,179

지역재 생산에 투입된 산업별 생산요소의 수요는 생산자의 이윤극대화 행위로부터 도출된다. 즉 생산자는 각 생산요소를 그들의 한계생산가치(value of marginal product)와 요소가격이 같아지는 수준까지 투입한다. 생산요소 가격, 즉 임금과 자본 수익률은 다음과 같이 결정되며, L과 K로 편미분하면 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 VA_{i,r} \cdot PV_{i,r} &= L_{i,r} \cdot w_{i,r} + K_{i,r} \cdot r_{i,r} \\
 w_{i,r} &= PV_{i,r} \cdot \frac{\partial VA_{i,r}}{\partial L_{i,r}} = PV_{i,r} \cdot a_{i,r} \cdot \frac{VA_{i,r}}{L_{i,r}} \\
 r_{i,r} &= PV_{i,r} \cdot \frac{\partial VA_{i,r}}{\partial K_{i,r}} = PV_{i,r} \cdot a_{i,r} \cdot \frac{VA_{i,r}}{K_{i,r}} \quad (\text{식 5-3})
 \end{aligned}$$

$w_{i,r}(r_{i,r})$ : r지역 i산업의 임금(자본수익률),  
 $PV_{i,r}$ : r지역 i산업의 부가가치 가격

완전경쟁시장이라는 가정 하에서 개별기업은 0의 이윤조건을 만족해야 한다. 따라

서 지역재를 판매하여 얻은 수입은 지역재의 생산과정에 투입된 비용과 같아야 한다. 이때 지역재의 판매 수입은 가격과 생산량을 곱한 것에 정부에 내는 간접세(indirect tax)를 제외시켜 계산한다. 그리고 투입비용은 중간재와 생산요소에 투입된 비용의 합이 된다.

$$(1 - itax_{i,r}) \cdot PX_{i,r} \cdot X_{i,r} = \sum_j PQ_{ji,r} \cdot ID_{ji,r} + PV_{i,r} \cdot VA_{i,r}$$

$PX_{i,r}$ : 지역재가격, (식 5-4)  
 $PQ_{ji,r}$ : 순지역복합재가격,  
 $itax_{i,r}$ : 간접세율

### 2.2.2. 지역재의 배분

국내에서 생산된 재화는 국내시장으로 공급되는 지역공급재와 해외시장으로 공급되는 해외수출재로 배분된다. 여기서 지역공급재와 해외수출재는 공급되는 지역의 규제조건 및 수요자들의 기호에 따라 서로 차별화되며, 두 재화 사이에는 불완전한 대체관계가 존재한다. 이 때 생산자는 이윤을 극대화하는 방향으로 생산된 지역재를 지역공급재와 해외수출재의 상대 가격에 따라 배분하는데, 한계변환율이 해외수출재와 지역공급재의 상대가격과 일치하도록 각각의 생산량을 결정한다. 이와 같이 한계변환율이 고정되어 있다고 가정한 CET(Constant Elasticity of Transformation) 함수에 따라 두 재화의 공급비중이 결정된다.

$$X_{i,r} = at_{i,r} \cdot [\delta_i^r \cdot XD_{i,r}^{\rho_{1i}} + (1 - \delta_{i,r}) \cdot XE_{i,r}^{\rho_{1i}}]^{\frac{1}{\rho_{1i}}}$$

$X_{i,r}$ : 지역공급재의 양,  $XE_{i,r}$ : 해외수출재의 양,  
 $at_{i,r}$ : CET함수의 규모계수, (식 5-5)  
 $\delta_{i,r}$ : CET함수의 배분계수,  
 $\rho_{1i} = \frac{(\sigma_1 + 1)}{\sigma_{1i}}$  (단  $\sigma_{1i}$ 는 불변전환탄력성)

지역재가 지역공급재와 해외수출재로 변환될 때, 지역재의 가치는 지역공급재와 해외수출재의 총액을 합한 것이 된다.



$$X_{i,r} \cdot PX_{i,r} = PD_{i,r} \cdot XD_{i,r} + PE_{i,r} \cdot XE_{i,r}$$

$$\begin{aligned} XD_{i,r} &: \text{지역공급재의양}, XE_{i,r} : \text{해외수출재의양} \quad (\text{식 5-6}) \\ PD_{i,r} &: \text{지역공급재의가격}, PE_{i,r} : \text{해외수출재의가격} \end{aligned}$$

본 연구는 소규모 국가 경제라는 가정을 적용하여, 국내 재화의 가격이 국제시장에서 거래되는 해당 재화의 가격에 영향을 미치지 않으며, 해외수출재의 가격을 외생변수로 간주한다. 따라서 해외수출재의 가격은 국제시장 가격과 국내 환율로 계산된다.

$$PE_{i,r} = er \cdot PWE_i \quad (\text{식 5-7})$$

$er$ : 환율,  $PWE_i$ : 해외수출재의 국제시장가격

결론적으로 한정되어 있는 생산량 하에서 지역재의 수익을 극대화하려는 방향으로 지역재의 배분이 결정된다. 지역공급재와 해외수출재의 가격이 주어지면 지역재의 총생산규모가 결정되며, 아래 식을 통해 해외수출재의 규모가 결정된다.

$$\frac{X_{i,r}}{XE_{i,r}} = at_{i,r} \cdot \left[ \delta_{i,r} \cdot \left( \frac{(1 - \delta_{i,r}) \cdot PD_{i,r}}{\delta_{i,r} \cdot PE_{i,r}} \right)^{\delta_{1i} + 1} + (1 - \delta_{i,r}) \right]^{\frac{1}{\delta_{1i}}} \quad (\text{식 5-8})$$

그리고 해외수출재의 규모가 결정되면 아래 식에 의해 지역공급재의 규모가 결정된다.

$$\frac{XD_{i,r}}{XE_{i,r}} = \left[ \frac{(1 - \delta_{i,r}) \cdot PD_{i,r}}{\delta_{i,r} \cdot PE_{i,r}} \right]^{\sigma_{1i}} \quad (\text{식 5-9})$$

### 2.3 재화 부문

지역복합재를 생산하고 배분하는 과정은 총 3단계로 구분할 수 있다. 1단계는 지역공급재와 다른 지역으로부터 들어오는 지역이입재의 결합을 통해 국내복합재를 생산하는데 투입된다. 2단계는 국내복합재와 해외수입재를 결합한 지역복합재를 생산하

는데 투입되고 배분되는 과정이다. 마지막 3단계는 생산된 지역복합재가 국내 경제주체들의 수요에 따라 최종재로서 배분되는 과정이다.

### 2.3.1 국내복합재

지역공급재와 지역이입재의 결합으로 국내복합재가 생산된다.

$$XS_{i,r} \cdot PS_{i,r} = PD_{i,r} \cdot XD_{i,r} + \sum_s PQ_{i,s} \cdot XT_{i,sr}$$

$$\begin{aligned} XS_{i,r} &: r\text{지역 } i\text{산업의 국내복합재 생산량,} \\ PS_{i,r} &: \text{국내복합재의 가격,} \\ PQ_{i,s} &: s\text{지역으로부터 들어온 지역이입재 가격,} \\ XT_{i,sr} &: r\text{지역 생산에 투입되는 } s\text{지역이입재의 양} \end{aligned} \quad (\text{식 5-10})$$

지역공급재와 지역이입재의 규모는 지역별 재화가격의 차이에 의해서 결정된다. 즉 지역별로 생산되는 재화가 차별화되어 있으며, 이는 가격에 반영되어 있다는 의미이다. 이러한 관계는 국제 거래에서 수입재와 국내생산재 사이에 고정된 대체탄력성이 존재한다는 아밍톤 가정에 따라 CES(constant elasticity of substitution) 함수 형태로 나타낼 수 있다.

$$XD_{i,r} = btr_{i,r} \cdot \left[ hr1_{i,r} \cdot (XD_{i,r})^{-\rho_{2i}} + \sum_s (hr2_{i,r} \cdot XT_{i,sr})^{-\rho_{2i}} \right]^{\frac{-1}{\rho_{2i}}}$$

$$\begin{aligned} btr_{i,r} &: \text{지역 } CES\text{함수의 규모계수,} \\ hr_{i,r} &: \text{지역 } CES\text{함수의 배분계수,} \\ \rho_{2i} &= \frac{(1 - \sigma_{2i})}{\sigma_{2i}}, (\text{단, } \sigma_{2i} \text{는 불변대체탄력성}) \end{aligned} \quad (\text{식 5-11})$$

결론적으로 한정되어 있는 생산량 하에서 생산자 입장에서는 비용을 최소화하기 위한 방향으로 위 식을 정리하면, 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$\frac{XT_{i,sr}}{XD_{i,r}} = \left[ \frac{hr2_{i,r} \cdot PD_{i,r}}{hr1_{i,r} \cdot PS_{i,s}} \right]^{\frac{1}{1 + \rho_{i,r}}} \quad (\text{식 5-12})$$

### 2.3.2 지역복합재

국내복합재와 해외로부터 들어오는 수입재를 결합하여 지역복합재가 생산되며, 이렇게 생산된 지역복합재는 중간재와 최종재로 배분된다. 국내복합재의 총 가치와 해외수입재의 총 가치를 합하면 지역복합재의 총 가치와 일치하게 된다. 이때, 해외수입재의 가격은 관세율, 환율, 해당 재화의 국제시장 가격에 따라 결정된다. 앞서 언급한 바와 같이, 본 연구는 소규모 국가 경제를 가정하고 있어, 국내시장에서 이루어지는 재화의 가격 변화가 국제시장 가격에 영향을 미치지 않으며, 해외수입재의 가격은 외생변수로 간주하였다.

$$PQ_{i,r} \cdot Q_{i,r} = PS_{i,r} \cdot XS_{i,r} + PM_{i,r} \cdot XM_{i,r}$$

$$PM_i = er \cdot (1 + tm_i) \cdot pwm_i$$

(식 5-13)

$PQ_{i,r}$  : 지역복합재의 가격,  
 $PM_{i,r}$  : 해외수입재의 가격,  
 $tm_i$  : 관세율,  $pwm_i$  : 해외수입재의 국제시장 가격

국내복합재와 해외수입재의 결합 형태는 일반적으로 많이 사용되는 CES 함수를 적용하였다.

$$Q_{i,r} = bt_{i,r} [h_{i,r} \cdot XS_{i,r}^{-\rho_{2i}} + (1 - h_{i,r}) \cdot IM_{i,r}^{-\rho_{2i}}]^{-\frac{1}{\rho_{2i}}}$$

$Q_{i,r}$  : 지역복합재의 양,  
 $IM_{i,r}$  : 해외수입재의 양, (식 5-14)  
 $bt_{i,r}$  : CES함수의 규모계수,  $h_{i,r}$  : CES함수의 배분계수,  
 $\rho_{2i} = \frac{(1 - \sigma_{2i})}{\sigma_{2i}}$  (단,  $\sigma_{2i}$ 는 불변대체탄력성)

생산자 입장에서 비용을 최소화하는 원리에 의해 국내복합재와 해외수입재의 규모가 결정된다. 국내복합재의 가격상승으로 해외수입재의 수요가 증가하며, 반대로 해외수입재의 가격이 상승하면 국내복합재 수요가 상승하는 관계를 표현한 것이다.

$$\frac{IM_{i,r}}{XS_{i,r}} = \left[ \frac{(1 - h_{i,r}) \cdot PS_{i,r}}{h_{i,r} \cdot PM_{i,r}} \right]^{\sigma_{2i}} \quad (\text{식 5-15})$$

### 2.3.3 지역복합재의 배분

지역복합재는 가계부문, 정부부문과 같은 경제주체들의 수요에 따라 배분된다. 이는 생산활동에 투입되는 중간재와 최종재 수요, 다른 지역으로 이출되는 수요로 구분된다. 최종재는 가계의 소비활동, 정부의 소비활동, 자본시장에서의 투자와 재고로 구분된다.

$$Q_{i,r} = PC_{i,r} + GC_{i,r} + INVEST_{i,r} + STOCK_{i,r} + \sum_j ID_{ij,r} + \sum_s RE_{i,rs}$$

$$\begin{aligned} PC_{i,r} : & \text{가계부문의 소비, } GC_{i,r} : \text{정부부문의 소비,} \\ INVEST_{i,r} : & \text{투자, } STOCK_{i,r} : \text{재고,} \\ RE_{i,rs} : & \text{지역이출재} \end{aligned} \quad (\text{식 5-16})$$

중간재 수요는 앞서 언급한 바와 같이 레온티에프 함수 형태로 가정하며 다음과 같이 결정된다.

$$ID_{i,r} = \sum_j IO_{ij,r} \quad (\text{식 5-17})$$

$$IO_{ij,r} = a_{ij,r} \cdot X_{j,r}$$

지역이출재는 지역복합재 중 다른 지역으로 공급되어 이출되는 재화를 말한다. 즉 지역이출재는 다른 지역의 생산자들이 국내복합재를 생산하는데 투입하는 지역이입재와 동일한 재화인 것이다. 따라서 r지역에서 생산한 지역복합재 중 지역이출재에 대한 수요는 s지역에서 필요로 하는 지역이입재 수요와 일치한다.

$$RE_{i,rs} = XT_{i,sr} \quad (\text{식 5-18})$$

## 2.4 가계 부문

가계는 효용의 극대화를 목표로 활동하는 지역의 대표 소비자로서 소비재를 구매함과 동시에 저축을 통해서 투자활동에도 영향을 미친다. 소비자의 소득은 생산요소(노동과 자본)를 공급한 대가로 얻는 임금소득과 자본소득, 그리고 정부로부터 이전되는 이전소득(보조금)으로 구성된다. 임금소득은 각 지역별 평균임금, 각 산업별 임금의 특성, 산업별 고용자수 등에 의해 결정되고, 자본소득은 부가가치에서 순간접세, 임금총액, 감가상각액 등을 차감한 것과 동일하다.

$$YLC_r = \sum_i WA_{i,r} \cdot L_{i,r} \cdot wdist_r \quad (\text{식 5-19})$$

$$YH_r = YLC_r + YKC_r + YSUB_r \quad (\text{식 5-20})$$

$$YKC_r = \sum_i (PVA_{i,r} \cdot VA_{i,r} (1 - itax_{i,r}) + ISUB_{i,r} - depr_{i,r} \cdot P_{i,r} \cdot K_{i,r} - WA_{i,r} wdist_r L_{i,r})$$

$YLC_r$  : 가계의 임금 소득,  $YH_r$  : 가계의 총 소득, (식 5-21)  
 $YKC_r$  : 가계의 자본소득,  $ISUB_{i,r}$  : 산업보조금,  
 $P_{i,r}$  : 소비재의 가격,  $WA_{i,r}$  : 평균임금,  
 $depr_{i,r}$  : 감가상각율

가계는 정부에 직접세(direct tax)를 납부하고, 나머지 가처분 소득(disposable income)을 소비활동에 쓰거나 저축한다.

$$YTAX_r = ytaxp_r \cdot YH_r \quad (\text{식 5-22})$$

$$YSAV_r = ysavp_r \cdot (YH_r - YTAX_r) \quad (\text{식 5-23})$$

$$YD_r = YH_r - YTAX_r - YSAV_r$$

$YD_r$  : 가계의 가처분소득, (식 5-24)  
 $ytaxp_r$  : 직접세율,  $YTAX_r$  : 직접세액,  
 $ysavp_r$  : 저축율,  $YSAV_r$  : 저축액,

소비자는 예산 제약조건 하에서 효용극대화 원칙에 따라 재화의 소비량을 결정하며, 소비자의 효용은 산업별 소비량의 콥-더글라스 함수로 추정한다.

$$P_{i,r} \cdot PC_{i,r} = pces_{i,r} \cdot YD_{i,r}$$

$$U_r = \Pi(PC_{i,r})^{\lambda_{i,r}} \quad (\text{식 5-25})$$

$U_r$  : 사회적 후생,  $pces_{i,r}$  : 민간소비분배지수

## 2.5 정부부문

정부는 근로소득세, 법인세, 부가가치세, 관세 등을 통해 수입을 얻고 정부소비와 보조금을 통해 이를 지출하며, 정부 지출과 수입과의 차이는 재정적자 또는 정부저축으로 정의된다. 관세는 재화별 수입량, 관세율, 세계시장 수입가격 및 환율 등에 의해 결정되며, 직접세와 간접세는 각각 가계의 직접세율과 산업별 간접세율에 의해 결정된다.

$$\begin{aligned} GR_r &= \sum_i (i tax_{i,r} \cdot PX_{i,r} \cdot X_{i,r}) + ytaxp_r \cdot YH_r \\ &\quad + \sum_i tm_{i,r} \cdot er \cdot pwm_i \cdot IM_{i,r}) \\ TARRIF_r &= \sum_i tm_i \cdot IM_{i,r} \cdot pwm_i \cdot er_t \\ IND TAX_r &= \sum_i i tax_{i,r} \cdot PVA_{i,r} \cdot VA_{i,r} \end{aligned} \quad (\text{식 5-26})$$

$GR_r$  : 정부세입  
 $TARRIF_r$  : 관세수입,  $tm_r$  관세율,  $ER$  : 환율,  
 $IND TAX_r$  : 간접세수입

정부의 세입은 정부소비, 가계와 산업보조금, 정부투자과 정부저축 등으로 지출되며, 정부소비를 제외한 나머지는 외생변수로 간주한다.

$$\begin{aligned} GR_r &= GCTOT_r + \sum YSUB_r + \sum ISUB_r + GSAV_r + GITOT_r \\ GC_{i,r} &= gces_{i,r} \cdot GCT_r \cdot GCTOT_r \end{aligned} \quad (\text{식 5-27})$$

$GCTOT_r$  : 정부소비지출총합,  $GSAV$  : 정부저축,  $GITOT$  : 정부투자,  
 $GC_{i,r}$  : 정부소비지출,  $gces_{i,r}$  : 정부소비분배지수

## 2.6 자본시장 부문

자본시장에서 민간부문의 투자재원은 기업의 감가상각액, 가계 및 정부 저축, 해외 순차관 등으로 구성된다. 모형의 구조적인 이유로 해외부문에서 발생한 저축은 총 수출액과 총 수입액의 차이로 간주되며, 이는 경상수지 적자와 같다. 이렇게 구성된 총 저축은 총투자액과 일치한다.

$$\begin{aligned}
 SAVINGS &= \sum YSAV_r + GSAV_r + \sum_i depr_{i,r} \cdot P_{i,r} \cdot K_{i,r} - FSAV_r \cdot er \\
 FSAV_r &= \sum_i pwm_{i,r} \cdot IM_{i,r} - \sum_i pwe_{i,r} \cdot EX_{i,r} \\
 INVEST &= SAVINGS
 \end{aligned}
 \tag{식 5-28}$$

*SAVINGS*: 총저축, *FSAV*: 해외저축, *INVEST*: 총투자

## 2.7 모형의 완결

최종적으로 본 연구에서 구축한 다지역 정태 연산일반균형모형은 2,055개의 수식과 2,055개의 변수로 구성된다. 주요 외생변수로는 지역별 산업별 자본스톡, 정부저축, 해외 순저축, 정부투자 등이며, 내생변수로는 지역별 산업별 고용자수, 부가가치액, 생산액, 수출액 등이다(표 5.1.5).

<표 5.1.5> 모형의 내생변수와 외생변수

내생변수		외생변수	
산업 부문	국내재가격, 수입재가격, 수출재가격, 수요자가격, 생산가격, 부가가치가격, 자본재가격, 총수요량, 국내생산량, 국내수요량, 수출량, 수입량, 노동투입량, 중간수요량, 민간소비지출, 부문별 투자량, 감가상각액	산업 부문	자본스톡, 세계시장 수입가격, 세계시장 수출가격, 재고투자, 산업보조금
단일 변수	노동소득, 자본소득, 정부수입, 정부소비, 총관세, 간접세액, 총투자, 총저축, 가계총소득, 직접세액, 소비자물가지수, 총고용자수, 효용	단일 변수	가계보조금, 정부저축, 정부투자, 노동공급, 해외저축, 환율

## 2.8 자본스톡 추정

지역별 산업별 자본스톡은 다음과 같은 과정으로 추정되었다. 기초자료는 2014년 5월 한국은행과 통계청에서 발표한 경제활동별 순자본스톡(명목) 자료(2010년 기준)로 30개 산업으로 분류되어 있다. 국내총생산 디플레이터를 이용하여 2005년 불변가격으로 환산한 전체 순자본스톡은 2,387조 원이며, 산업을 본 연구의 분류에 따라 9개 부분으로 조정하였다.

6개 지역별로 9개 산업의 자본스톡을 추정하기 위해서, 제조업 자본스톡은 광공업 통계 자료를 이용하고, 다른 산업에 대해서는 본 연구에서 구축한 사회계정행렬 내의 지역별 각 산업의 자본소득 자료를 이용하였다.

광공업통계의 ‘ 시도/산업분류별 유형자산 증가액, 감소액 및 연말잔액 ’ 자료 중 2005년의 유형자산 연말잔액을 기준으로 전체 총액에서 각 6개 지역이 차지하는 비율을 계산하였다. 이 비율을 이용하여 제조업의 순자본스톡 총액을 6개 지역별로 배분하였다. 다른 산업에 대해서는 본 연구의 사회계정행렬 내 지역별, 산업별 자본소득을 기준으로 비율을 계산하여 순자본스톡을 배분하였다(표 5.1.6).

<표 5.1.6> 지역별 산업별 순자본스톡 추정 결과(단위: 십억 원, 2005년 기준)

지역	농림수산	제조업	전력가스	건설	도소매	운수/보관	통신/방송	금융/보험	서비스
수도권	4,935	141,396	33,047	10,801	40,996	82,285	67,728	37,770	841,633
충청권	8,599	75,586	17,615	2,911	5,506	11,089	6,174	3,486	104,796
호남권	11,604	48,247	24,494	2,931	5,514	14,090	6,571	3,552	97,448
경북권	6,478	59,612	34,271	2,417	5,709	9,583	7,575	3,201	110,695
경남권	5,509	93,740	37,576	3,841	10,471	31,600	11,207	5,104	163,093
강원 제주권	4,804	8,724	2,191	1,279	3,046	5,113	3,590	1,182	45,551
합계	41,929	427,306	149,194	24,180	71,242	153,761	102,845	54,296	1,363,217

자료: 한국은행, 통계청, 2014



## 제 2 절 다지역 사회계정행렬 구축

모형 내의 방정식을 구성하고 있는 다양한 파라미터 값들은 다지역 사회계정행렬 (multi-regional social accounting matrix)의 보정 과정을 통해 도출된다. 사회계정행렬에서 제공하는 경제 정보들은 일반균형모형의 해를 구하는데 있어 필수적인 것들로 일부 파라미터의 값을 제공할 수 있으며, 사회계정행렬을 통해서 구할 수 없는 파라미터 값들은 한국은행이나 통계청 그리고 기존 선행연구에서 제시된 자료를 활용한다.

### 1. 사회계정행렬의 개념

사회계정행렬은 특정 기간 동안 한 국가 또는 지역의 경제적 거래를 요약한 표로 정의할 수 있다. 사회계정행렬에서 행(가로)을 따라 나타난 수치는 해당부문의 소득이며, 열(세로)을 따라 나타난 수치는 지출을 의미한다. 경제 전체로 볼 때 소득과 지출이 같다는 거시순환원칙에 따라서 행(소득측면)과 열(지출측면)의 합은 일치한다. 따라서 사회계정행렬은 일반균형모형이 요구하는 세 가지 균형조건(0의 이윤, 시장청산, 소득균형)을 충족하게 된다.

일반적으로 대부분의 국가에서 사회계정행렬은 직접 조사되어 작성되기 보다는 산업연관표를 활용하여 간접적으로 작성된다. 우리나라에서는 지금까지 실제 조사를 바탕으로 작성한 사회계정행렬을 공식적으로 발표한 적이 없으며, 연구자들이 연구의 목적에 따라 산업연관표를 이용하여 작성하고 있는 실정이다.

산업연관표는 경제 내 다양한 활동을 생산과 수요로 구분하여 산업간 연관관계와 함께 재화와 자금의 흐름을 구체적인 표로 요약한 것이다. 그러나 재화를 소비하는 주체들의 소득을 고려하면 산업연관표에 나타난 자금과 재화의 흐름은 분명하지 않다. 왜냐하면 산업연관표는 재화의 생산구조와 배분구조에만 초점을 맞추고 있기 때문이다. 이와 같이 경제주체들의 소득형성 체계가 명확히 드러나지 않고, 경제주체들 간의 거래도 일부만 파악할 수 있어 산업연관표는 경제 내 흐름과 구조를 종합적으로 나타내지 못하는 한계가 있다(김홍배, 2009). 반면, 사회계정행렬은 경제 내 모든 주체들의 거래를 나타내기 위하여 정방행렬의 형태로 작성되며, 그들의 소득과 지출의 합이 일치되게 하는 복식부기 원리에 의해 작성된다.

## 2. 다지역 사회계정행렬의 작성

앞서 언급한 바와 같이, 본 연구는 자연재해의 경제적 파급효과를 분석하기 위해 다지역 정태 연산일반균형모형을 구축한다. 이를 위해 6개 지역과 9개 산업으로 구성된 다지역 사회계정행렬을 작성하며, 기본적인 구조는 <그림 5.2.1>과 같다.

기본적인 자료는 한국은행이 2005년에 발표한 지역산업연관표이고, 이 표에서 구할 수 없는 정보는 다른 통계와 관련 자료로부터 구해야 한다.

가계 부문에서는 정부로부터 받는 보조금, 정부에 납부하는 세금, 그리고 저축에 대한 자료가 필요하다. 정부에 납부하는 세금은 국세청의 통계연보 자료에서 제공하는 시도별 직접세 징수액으로 처리하였다. 그리고 정부가 지출한 가계 보조금은 통계청의 시도별 세출 항목 중에서 사회보장과 관련된 내역으로 처리하였다. 이와 같이 직접세와 보조금의 규모가 확정되면 가계부문의 저축은 자동적으로 계산된다. 이는 사회계정행렬 작성의 가장 큰 원칙, 즉 소득과 지출이 일치해야한다는 조건 하에서 가능한 계산이다. 가계의 총 소득은 산업연관표를 통해 계산할 수 있는 노동 소득과 자본소득, 그리고 다른 자료에서 구한 정부 보조금을 합한 총액이며, 이는 가계의 총 지출과 일치해야 하고 저축을 제외한 나머지 지출 항목에 대한 자료가 존재하기 때문에 가계 부문의 저축을 계산할 수 있는 것이다. 정부 부문에 대해서도 동일한 방식으로 정부가 지출하는 보조금을 구할 수 있기 때문에 정부의 저축도 자동적으로 산출된다. 이와 같은 과정을 통해 작성된 다지역 사회계정행렬은 부록에서 확인할 수 있다.

			EXPENDITURES																																				
			Factor Inputs		Production Activities									Household			GOV	CAP	GOV. Consumption						Private Fixed capital						Gov. Fixed capital						Inventory	ROW	TOTAL
					R1			...			R6								R1 R2 R3 R4 R5 R6						R1 R2 R3 R4 R5 R6						R1 R2 R3 R4 R5 R6								
			Labor (L)	Capital (K)	S1	...	S9	S1	...	S9	S1	...	S9	R1	...	R6			R1	R2	R3	R4	R5	R6	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R1	R2	R3	R4	R5	R6			
Factor Inputs	Labor(L)																																						
	Capital(K)																																						
Production Activities	R1	S1																																					
		...																																					
	...	S9																																					
		S1																																					
	R6	...																																					
		S9																																					
Institution	Households	R1																																					
		...																																					
		R6																																					
	GOV.																																						
	CAP																																						
	GOV. Consumption	R1																																					
		R2																																					
		R3																																					
		R4																																					
		R5																																					
		R6																																					
	Private fixed capital	R1																																					
		R2																																					
		R3																																					
		R4																																					
		R5																																					
		R6																																					
	Gov. fixed capital	R1																																					
		R2																																					
		R3																																					
R4																																							
R5																																							
R6																																							
Inventory																																							
ROW																																							
TOTAL																																							

〈그림 5.2.1〉 지역간 사회계정행렬

주: 지역은 R1: 수도권, R2: 충청권, R3: 호남권, R4: 경북권, R5: 경남권, R6: 강원제주권으로 구분되며, 산업은 S1: 농림수산물, S2: 제조업, S3: 전력, 가스 및 수도, S4: 건설, S5: 도소매 및 숙박, S6: 운수 및 보관, S7: 통신 및 방송, S8: 금융 및 보험, S9: 서비스로 분류되었음.

### 3. 계수 추정

연산일반균형모형에서는 생산자, 가계, 정부 등 경제주체가 의사결정을 하는데 재화 사이의 상대적인 가격비율이 많은 영향을 미친다. 산업별 해외수출재의 가격, 해외수입재의 가격, 소비재가격, 환율 등 가격은 해당 재화 또는 노동, 자본과 같은 생산요소의 수요와 공급이 일치되는 수준에서 내생적으로 결정된다. 본 논문에서는 모형의 기준 가격(numeraire)으로 소비자물가지수를 설정하였다.

모형 내 다양한 파라미터가 존재하는데, 일반적으로 이 파라미터들의 값을 추정하기 위한 방법에는 두 가지가 있다. 첫째, 시계열 자료를 분석해서 파라미터의 값을 구할 수 있는데, 생산함수, 아밍턴함수 등에 필요한 대체탄력성, 국내복합재와 해외수출재 사이의 전환탄력성 등이 해당된다. 둘째, 2005년을 기준시점으로 해서 시장 균형조건을 활용하여 파라미터를 산출하는데, 중간재의 투입계수, 민간 소비 분배율은 부문별 민간 소비량을 총 민간 소비량으로 나누어 얻을 수 있다. 이와 같이 대부분의 파라미터들은 사회계정행렬의 기준 연도 자료들로부터 구할 수 있다. 노동과 자본, 두 생산요소 간의 대체 탄력성, 해외수입재와 국내복합재의 대체 탄력성, 해외수출재와 국내재 사이의 전환 탄력성을 추정해야 하지만, 본 연구에서는 선행연구의 결과를 이용하기로 한다. 정재호 등(2003)이 추정한 28개 산업의 내수재-수출재 전환탄력성과 아밍턴 대체탄력성을 적용하였다. 산업이 본 연구의 산업 분류와 일치하지 않기 때문에 9개 산업으로 재분류한 후 산업에 따라 평균한 값을 사용하였다(표 5.2.1).

<표 5.2.1> 산업별 탄력성 모수

구분	불변전환탄력성	불변대체탄력성
농림수산	0.22	1.84
제조업	0.92	1.31
전력, 가스 및 수도	1.94	3.48
건설	1.94	0.85
도소매 및 숙박	1.94	0.88
운수 및 보관	1.94	0.85
통신 및 방송	1.94	0.85
금융 및 보험	1.94	0.63
서비스	1.94	0.85

자료: 정재호 등, 2003

## 제 3 절 분석결과

제 1 절과 제 2 절에서 구축한 다지역 정태 연산일반균형모형과 사회계정행렬로부터 도출된 파라미터 값 등을 이용하여 미래에 발생 가능한 자연재해 피해액에 따른 지역별, 산업별 경제적 변화를 예측할 수 있다. 본 절에서는 제 4 장에서 패널모형으로 추정한 지역별 자연재해 피해액을 적용하여, 가상의 자연재해가 발생했을 때 국가 경제, 지역 경제, 산업 활동 등에 어떠한 변화가 있는지 분석한다.

자연재해로 인한 경제적 변화를 파악하기 위해서는 자연재해가 없는 상황과의 비교가 필요하며, 이는 곧 연산일반균형모형에서 말하는 일반균형 상태를 말한다. 본 연구에서는 2005년 시점의 다지역 연산일반균형모형의 일반균형 상태로 생산활동, 재화, 가계, 정부 등 부문별로 설정한 수식을 통해서 모형의 해를 구하는 것을 의미한다. 본 연구에서는 모형에 자연재해 발생과 같은 충격이 적용되지 않은 2005년의 조건이 그대로 반영된 모형을 기본모형이라 부르기로 한다. 그리고 이 기본모형의 해는 결국 사회계정행렬에 포함되어 있는 경제부문들의 활동과 상호 간의 거래 내용과 일치해야 한다. 왜냐하면 연산일반균형모형에 필요한 대부분의 파라메타들이 사회계정행렬로부터 계산되기 때문이다. 제 2 절에서 제시된 다지역 연산일반균형모형을 통해서 도출된 주요변수들의 해가 사회계정행렬에 있는 값과 일치하여 본 연구의 기본모형이 정상적으로 구축된 것을 확인하였다. 이제는 제 4 장에서 추정한 향후 자연재해로 발생할 수 있는 직접적인 피해액으로 시나리오를 구성하여 파급효과를 분석한다. 이와 같이 구성한 자연재해 시나리오와 별도로 토지이용 및 도시계획 측면에서 불투수면 면적을 저감시키는 시나리오를 구성하여 정책의 효과도 살펴보고자 한다.

### 1. 시나리오 구성

#### 1.1 자연재해 시나리오

자연재해의 경제적 파급효과를 분석하기 위해 본 연구에서는 제 4 장에서 추정한 직접피해액의 최소값, 평균값, 최대값에 평균 2%의 할인율을 적용하여 2005년 시점의 현재가치를 계산하였다. 그리고 16개 시도를 <표 5.3.1>과 같이 6개 권역으로 재구성하여 앞서 구축한 2005년 기준 다지역 연산일반균형모형에 적용한다.

<표 5.3.1> 자연재해 시나리오의 자연재해 피해액(단위: 십억 원, 2005년 기준)

권역	최소	평균	최대
수도권	1,654	2,156	2,863
충청권	291	545	1,436
호남권	449	931	4,669
경북권	63	166	646
경남권	131	222	591
강원제주권	398	971	2,246
합계*	2,985	4,991	12,451

\*여기서 합계액은 각 권역에서 향후 발생 가능한 자연재해 피해액을 최소값, 평균값, 최대값별로 합한 것으로, 권역별로는 최소, 평균, 최대 자연재해 피해가 발생하는 연도가 상이할 수 있다. 이와 같은 이유로 이 합계액은 제 4 장에서 자연재해 피해가 발생하는 연도별로 연간피해액을 도출하여 제시한 ‘향후 발생 가능한 연간 자연재해 피해액의 최소값, 평균값, 최대값’과 일치하지 않는다.

한편, 추정된 자연재해 피해액은 다지역 연산일반균형모형을 통해 구현된 2005년 경제의 균형 상태를 깨뜨리는 외부적 충격으로 적용되며, 구체적으로는 각 권역별 자연재해 피해액만큼 각 권역의 자본스톡이 감소하고 그에 따른 경제적 변화를 살펴보는 것이다. 연산일반균형모형을 이용하여 자연재해의 경제적 파급효과를 분석한 국내 선행연구들도 자연재해 피해액만큼 자본스톡이 감소하는 설정을 적용하였다. 다만, 국내 선행연구에서는 구체적으로 자본스톡 감소율을 산업별로 어떻게 적용하였는지 설명하고 있지 않으며, 아마도 총 자본스톡 대비 추정된 자연재해 피해액이 차지하는 비율을 계산하여 자본스톡 감소율을 구하고, 산업별 자본스톡에 모두 동일한 감소율을 적용한 것으로 추측된다. 본 연구에서는 기존 연구보다 정교하게 자본스톡 감소 시나리오를 적용하기 위해, 자연재해 피해액의 세부항목을 검토하여, 본 연구에서 설정한 9개 산업과 대응시켰다. 그리고 자연재해 총 피해액에서 각 산업이 차지하는 비율을 추정하여 자본스톡 감소 시나리오에 활용하고자 한다.

자연재해 피해액의 세부항목을 9개 산업과 대응시키기 위해 본 연구에서는 두 가지 기준을 적용하였다. 첫 번째 기준은 자연재해로 인해 저하 또는 손실되는 기능에 관한 것이다. 예를 들면, 도로와 철도 항목에서 발생하는 수 있는 자연재해 피해는 도로의 유실, 선로의 침수 등이며, 이는 곧 사람과 물자를 이동시키고 운송하는 도로와 철도의 기능을 저하시키므로 ‘운수 및 보관’ 산업에 대응시키는 것이 합리적이다.

한편, 자연재해 피해액의 세부항목 중 일부는 기능 저하와 손실을 기준으로 산업

에 대응시키기 어려워 차선택으로 두 번째 기준을 설정하였다. 두 번째 기준은 자연재해 피해 후 복구활동에 관한 것이다. 예를 들면, 하천, 소하천, 수리방조제 등에 발생하는 피해는 호안블록의 유실 또는 파괴, 제방의 붕괴 등이며, 이는 곧 용수를 공급하고, 홍수를 예방하며, 심미적 경관을 제공하는 하천의 기능을 저하시킨다. 다만, 이러한 기능은 근본적으로 산업에서 제공할 수 있는 것이 아니기 때문에 이를 기준으로 산업에 대응시키는 것이 쉽지 않다. 이와 같은 경우에 두 번째 기준을 적용하여, 하천에서 발생한 피해의 복구가 호안블록의 보수와 시공 설치, 배수펌프시설의 보수와 설치 등이 주를 이루고 있는 점에 근거하여 ‘건설’ 산업에 대응시켰다.

이와 같이 두 가지 기준을 순차적으로 적용하고 한국은행(2011)의 산업연관표 산업분류에 대한 설명에 근거하여, 자연재해 피해액 항목을 <표 5.3.2>와 같이 산업에 대응시켰다.

<표 5.3.2> 자연재해 피해액 세부항목의 산업 분류

구분		세부항목	산업
공공 시설		건물	건설
		선박	농림수산
		농경지	농림수산
		도로	운수 및 보관
		하천	건설
		소하천	건설
		수도	전력, 가스, 수도
		항만	운수 및 보관
		어항	농림수산
		학교	서비스
		철도	운수 및 보관
		수리시설, 방조제	건설
		사방	건설
		군시설	서비스
	기타	소규모(농로, 소교량)	건설
		기타(관공서건물, 수련시설, 시장, 산단, 묘지, 신호기, 관측시설)	서비스
		축대, 담장	건설
		가축	농림수산
		축사, 잠사	농림수산
		수산물양식	농림수산
		어구	농림수산
		비닐하우스	농림수산
		기타(공장, 광산 등)	제조업

자연재해 피해액의 세부항목에 대응된 산업에 근거하여 총 자연재해 피해액 내에서 각 산업이 차지하는 비율을 계산하였다. 구체적으로는 2001년부터 2012년까지 12년 동안의 16개 시도별 자연재해 총 피해액 자료를 활용하여, 6개 권역별 9개 산업이 자연재해 피해액에서 차지하는 평균 비율을 구하였다(표 5.3.3). 이와 같이 계산된 9개 산업의 비율을 추정된 자연재해 피해액에 적용하여, 각 산업별 자연재해 피해액 규모를 계산하고 이를 연산일반균형모형에 적용한다.

<표 5.3.3> 권역별 산업의 자연재해 피해액 비율

권역	산업	2001년~2012년 합계(단위: 십억 원)	비율
수도권	농림수산	377	29%
	제조업	175	13%
	전력가스수도	19	1%
	건설	473	36%
	운수 및 보관	68	5%
	서비스	193	15%
충청권	농림수산	801	39%
	제조업	421	21%
	전력가스수도	11	1%
	건설	631	31%
	운수 및 보관	76	4%
	서비스	90	4%
호남권	농림수산	998	32%
	제조업	367	12%
	전력가스수도	33	1%
	건설	1,268	40%
	운수 및 보관	199	6%
	서비스	285	9%
경북권	농림수산	361	15%
	제조업	90	4%
	전력가스수도	35	1%
	건설	1,372	58%
	운수 및 보관	300	13%
	서비스	200	8%
경남권	농림수산	631	14%
	제조업	703	16%
	전력가스수도	50	1%
	건설	2,058	47%
	운수 및 보관	352	8%
	서비스	575	13%
강원 제주권	농림수산	729	13%
	제조업	216	4%
	전력가스수도	121	2%
	건설	2,484	43%
	운수 및 보관	1,268	22%
	서비스	894	16%



## 1.2 정책 시나리오

앞서 자연재해 피해의 결정요인을 고찰한 결과, 도시계획 및 토지이용계획 측면에서 불투수면 면적을 사전적으로 적절하게 관리한다면 자연재해 피해 규모가 줄어들 가능성이 있음을 확인하였다. 이에 본 연구에서는 불투수면 면적을 저감하는 정책이 이루어졌을 때, 자연재해 시나리오 대비 자연재해 피해 규모와 파급효과가 어떻게 달라지는지 실험하고자 한다. 이를 위해서는 권역별로 불투수면 면적을 저감할 수 있는 규모에 대한 시나리오 구성이 필요하다. 우선 불투수면 면적을 저감하기 위한 정책과 기술에 대해 알아보고 권역별로 저감시킬 수 있는 불투수면 면적을 계산한다.

일반적으로 도시화 과정에서 형성되는 불투수면은 주로 도로, 보도, 주차장, 건물의 지붕(Roof) 등의 형태로 나타난다. 미국 환경부에서는 불투수면 면적을 줄이기 위한 주요정책으로 저영향개발기법(Low Impact Development) 또는 녹색기반시설(Green Infrastructure)의 도입을 제시하고 있다. 저영향개발기법은 강우유출이 발생한 이후에 처리하는 집중식 처리기법이 아닌 발생원 단계에서 처리하는 것에 초점을 맞춘 사전예방기법으로 강우유출수를 분산식으로 처리하는 기법을 말한다(박준호 등, 2008). 또한 저영향개발기법은 지속가능한 도시 개발의 개념으로써 새롭게 조성될 도시지역에 대해 투수성 포장, 옥상녹화, 침투트렌치, 우수저류시설 등과 같은 통합적인 관리방안을 적용한다. 이를 통해 토양의 수문학적 특성의 유지 및 투수면의 최대화를 통해 침투유량, 홍수도달시간, 직접 유출 등의 수문 상태를 도시개발 전과 유사한 특성을 지닐 수 있도록 하는 자연 친화적 도시설계 기법이다(박준호 등, 2008; 전지홍 등, 2009).

저영향개발기법의 요소기술에는 우수저류공원(rain garden), 옥상녹화(rooftop gardens), 가로수 저류(tree box filter), 식생 수로(vegetated swales), 빗물 저장탱크(rain barrels and cisterns), 투수성 포장(permeable pavers)이 대표적이다(국립환경과학원, 2010). 이러한 기술들을 적용하였을 때, 불투수면 면적이 줄어드는 규모는 토목공학, 수문수리학에서 사용하는 강우유출모형을 통해 추정할 수 있으나, 일부 소유역에 한정되어 있어 지역, 국가단위의 저감 규모를 추정하는 것은 다소 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 권역별 불투수면 면적의 저감 규모를 간접적으로 추정하기로 한다.

언급한 요소기술을 모두 적용하여 권역별로 불투수면 면적의 저감 규모를 추정하는 것은 다소 실현 가능성이 낮다. 이에 본 연구에서는 상대적으로 적용이 용이하며, 현

재의 권역별 토지이용특성을 반영할 수 있는 기술을 선택하여 간접적으로 불투수면 면적의 저감 규모를 추정한다. 6개의 저영향개발기법 중 현실적으로 실행하기 쉬운 기술은 투수성 포장과 옥상녹화라고 판단하였다. 투수성 포장은 포장재를 통해 빗물을 노상에 침투시켜 흙 속으로 환원시키는 기능을 하며, 일반적으로 강우유출수를 침투시켜 배수로로 흘려보내기 전에 일시적으로 물을 저류시키는 하층구조도 포함하여 설계한다. 투수성 포장은 보도와 승용차 등 중량이 가벼운 차량이 통과하는 차도나 주차장 등에 주로 적용된다. 그리고 옥상녹화는 건물 옥상에 정원을 설치하여 우수유출수를 저류 및 지연시킨 후 하수처리시설로 배출시키는 기술로 빗물 유출 저감 효과뿐만 아니라 도시열섬의 감소, 공기 정화 및 온실가스의 배출 감소 등의 효과 확보에 용이하다(국립환경과학원, 2010). 이 두 기술은 주로 주차장이나 건물 옥상에 적용되는 기술로 비교적 적용하기 용이하며, 권역별로 현재 토지이용현황을 반영할 수 있어 보다 정교한 시나리오 구성이 가능하다고 판단하였다. 반면, 우수저류공원, 식생수로 등은 이러한 시설이 들어갈 수 있는 부지 확보가 필요한 기술이어서 쉽고 빠르게 적용하기는 힘들고, 가로수 저류, 빗물저장탱크 등은 현실적으로 적용하기는 용이하나 권역별 토지이용특성을 반영하기 힘들다.

이와 같이 본 연구에서는 투수성 포장과 옥상녹화라는 저영향개발기법을 적용하여 불투수면 면적 저감에 관한 정책시나리오를 구성한다. 구체적으로는 지적통계 자료에서 주차장 지목을 투수성 포장으로 교체하고, 학교 지목을 옥상녹화 대상으로 설정하여 불투수면 면적에서 제외시키는 것이다. 주차장과 학교 면적이 제외된 16개 시도별 불투수면 면적을 제 4 장에서 추정한 패널모형에 적용하여 자연재해에 따른 직접적 피해액 계산하고 할인율을 적용하여 2005년 시점의 현재가치를 구하였다(표 5.3.4).

<표 5.3.4> 불투수면 면적 저감에 따른 자연재해 피해액 추정단위: 십억 원, 2005년 기준)

지역	최소	평균	최대
수도권	1,552	1,991	2,648
충청권	271	509	1,338
호남권	422	876	4,390
경북권	58	155	605
경남권	122	208	555
강원제주권	370	902	2,088
합계	2,795	4,640	11,623

## 2. 자연재해 시나리오

불투수면 면적 저감과 같은 정책적 노력이 없는 상황에서 앞서 추정된 자연재해 피해액이 발생하게 되었을 때의 경제적 상황을 모의한다. 그리고 기후변화로 인해 불확실성이 증가하고 있는 상황과 과거 우리나라의 자연재해가 특정 년도에 여러 지역에서 상당한 규모의 피해를 발생시킨 사례를 고려하여, 6개 권역에서 자연재해 피해가 동시에 발생하는 것으로 가정하였다. 모의한 결과를 각 권역별로 자세히 살펴본다.

### 2.1 수도권

수도권의 경우, 자연재해로 인한 자본스톡 감소율이 전체 규모 대비 최소 0.13%에서 최대 0.23%이지만, 산업별로는 농림수산업의 자본스톡이 최대 16.76%까지 감소하게 된다(표 5.3.5). 자본스톡 감소율에 따라 다지역 연산일반균형모형에 적용한 결과를 생산, 가격, 소비 부문의 변화를 중심으로 분석한다(표 5.3.6).

〈표 5.3.5〉 자연재해 시나리오에 따른 수도권의 자본스톡 감소율

	산업	자본스톡(십억 원)	최소	평균	최대
수도권	농림수산	4,935	-9.68%	-12.62%	-16.76%
	제조업	141,396	-0.16%	-0.20%	-0.27%
	전력,가스 및 수도	33,047	-0.07%	-0.10%	-0.13%
	건설	10,801	-5.54%	-7.22%	-9.59%
	운수 및 보관	82,285	-0.10%	-0.14%	-0.18%
	서비스	988,127	-0.02%	-0.03%	-0.04%
	전체	1,260,591	-0.13%	-0.17%	-0.23%

수도권 지역에서 자연재해로 인해 가장 영향을 많이 받는 산업은 농림수산업으로, 생산량 감소 규모가 가장 크고 가격도 크게 상승하여 소비량도 크게 감소하였다. 농림수산업의 경우, 기후적 조건 등 통제하기 힘든 요인의 지배를 많이 받기 때문에 계획된 생산이 어렵고, 수요와 공급의 탄력성이 낮아서 생산의 변동에 따라 가격변동이 매우 심한 특징이 있다(주봉규와 박정근, 2001). 즉 농림수산업의 특성상 한번 파괴된 생산지의 조건을 정상적인 상태로 회복하는데 다른 산업보다 오랜 시간이 필요하며, 자연재해 피해가 없는 다른 지역에서 갑자기 생산량을 증가시켜 수도권 지역으로 공급하기도 어렵다. 또한 소비 감소규모가 적지 않음에도 가격이 크게 상승한 것은 수

도권 지역 내의 농림수산업 생산량 대비 인구규모만큼 수요가 크기 때문에 가격상승이 다른 지역과 비교했을 때에도 압도적으로 높은 것으로 판단된다.

<표 5.3.6> 자연재해 시나리오에 따른 수도권 경제의 변화

	산업	최소	평균	최대	차트
생 산	농림수산	-5.69%	-7.49%	-10.19%	
	제조업	-0.87%	-1.24%	-2.11%	
	전력, 가스 및 수도	-0.27%	-0.42%	-0.96%	
	건설	-1.90%	-2.45%	-1.55%	
	운수 및 보관	-0.60%	-0.87%	-1.55%	
	서비스	-0.61%	-0.83%	-1.06%	
	전체	-0.83%	-1.14%	-1.61%	
가 격	농림수산	26.02%	36.38%	50.68%	
	제조업	1.09%	1.34%	0.69%	
	전력, 가스 및 수도	0.75%	0.73%	-1.33%	
	건설	2.45%	3.14%	-0.12%	
	운수 및 보관	0.83%	0.95%	-0.12%	
	서비스	0.93%	1.06%	-0.31%	
소 비	농림수산	-29.87%	-38.69%	-50.83%	
	제조업	-1.69%	-2.15%	-4.29%	
	전력, 가스 및 수도	0.26%	0.28%	-1.29%	
	운수 및 보관	-0.78%	-1.06%	-3.69%	
	서비스	-0.79%	-1.20%	-2.95%	
	전체	-1.14%	-1.46%	-2.05%	

주: 도소매 및 숙박, 통신 및 방송, 금융 및 보험 산업은 변화량이 미미하여 분석의 편의를 위해 서비스 산업으로 묶어서 정리한 결과임.

수도권의 건설업은 자본스톡 감소율이 두 번째로 큰 산업임에도 최대 시나리오에 서는 생산량 감소폭이 평균 시나리오보다 줄어들었다. 건설업의 경우, 생산요소의 구매 네트워크가 다양하며, 활동범위가 일부지역에 국한되어 있지 않고 타지역에서 생산 활동이 가능한 산업이다(국토연구원, 2007). 이러한 특성으로, 수도권 이외의 지역에서 생산 활동을 유지하는 것이 가능하고, 경우에 따라서는 더 크게 자연재해 피해를 입은 타지역에서 건설 수요가 증가한다면, 수도권 건설업의 생산량 감소폭이 줄어들 수 있는 것이다.

한편, 제조업, 전력 가스 및 수도, 운수 및 보관 산업은 자연재해 피해로 인해 자본스톡 감소율이 1% 미만이었음에도 불구하고, 피해규모 대비 상대적으로 크게 영향을 받는 것으로 나타났다.

제조업은 1차 산업으로부터 원재료들을 구매하고 가공하여 유형의 제품을 생산하는 산업으로 생산시설의 대부분이 고정되어 있다(산업연구원, 2012). 이러한 제조업의 특징을 고려했을 때, 자연재해로 인해 생산요소의 공급이 감소함에 따라 가격이 상승하여 결과적으로 생산요소의 투입이 줄어들기 때문에 생산량 감소규모가 타 산업에 비해 큰 것으로 판단된다.

전력 가스 및 수도 산업은 대체재가 없으며 민간부문의 활동 및 산업 활동에 필수적인 재화이기 때문에 수요가 비탄력적이다. 또한 생산설비를 갖추는데 장기간이 소요되어 수요의 변화에도 빠르게 대응하지 못해 공급도 비탄력적인 특징을 갖는다(산업연구원, 2006). 수요와 공급이 비탄력적임에도 불구하고, 최대 자연재해 시나리오에서는 대규모 자연재해로 인해 타산업의 생산 활동이 크게 둔화되어 전력 가스 및 수도에 대한 수요의 감소폭이 커지고 그에 따라 가격이 오히려 하락하는 것으로 판단된다.

운수 및 보관 산업은 도로, 교량과 같은 사회간접자본시설을 기반으로 생산이 이루어지는데, 자연재해로 인해 이러한 시설이 파괴되고 복구하는데 많은 시간이 소요되어 생산량 감소폭이 큰 것으로 판단된다.

## 2.2 충청권

충청권의 경우, 자연재해로 인한 자본스톡 감소율이 전체 규모 대비 최소 0.12%에서 최대 0.61%이며, 산업별로는 건설업의 자본스톡이 최대 15.34%까지 감소하게 된다(표 5.3.7). 자본스톡 감소율에 따라 다지역 연산일반균형 형에 적용한 결과를 생산, 가격, 소비 부문의 변화를 중심으로 분석한다(표 5.3.8).

<표 5.3.7> 자연재해 시나리오에 따른 충청권의 자본스톡 감소율

	산업	자본스톡(십억 원)	최소	평균	최대
충청권	농림수산	8,599	-1.34%	-2.50%	-6.59%
	제조업	75,586	-0.08%	-0.15%	-0.39%
	전력가스수도	17,615	-0.01%	-0.02%	-0.04%
	건설	2,911	-3.11%	-5.82%	-15.34%
	운수 및 보관	11,089	-0.10%	-0.18%	-0.48%
	서비스	119,962	-0.01%	-0.02%	-0.05%
	전체	235,762	-0.12%	-0.23%	-0.61%

자연재해로 인한 충청권의 경제적 변화를 살펴보면, 수도권과 비교했을 때 전체 생산 규모의 감소폭이 최대 2.35%로 수도권의 1.61%보다 크고 소비 규모의 감소폭은 최대 1.56%로 수도권의 2.05%보다 작았다. 충청권에서 자연재해로 인해 가장 피해가 큰 산업은 농림수산업으로 자본스톡 감소율은 건설업이 더 많았지만, 생산량 감소 규모, 가격 상승폭, 소비 감소 규모 측면에서 가장 큰 변화를 보였다. 이러한 이유는 앞서 설명한 것과 같이 농림수산업이 타 산업에 비해 회복속도가 느리고 타지역으로부터의 이입을 늘리기도 힘든 특성 때문에 자연재해로 인한 영향을 많이 받는 것으로 판단된다. 다만, 수도권과는 다르게 농림수산업의 가격 상승폭이나 소비 감소폭이 작았는데, 이는 충청권에서 농림수산업 공급과 수요의 관계가 수도권보다는 다소 안정적일 것으로 판단된다.

충청권에서도 제조업, 전력 가스 및 수도, 운수 및 보관 산업이 자본스톡 감소 대비 자연재해로 인한 부정적 영향을 다소 크게 받는 것으로 나타났다. 수도권과는 다르게, 전력 가스 및 수도의 소비량이 지속적으로 증가하였는데, 충청권이 수도권보다는 제조업 비중이 낮아 제조업을 비롯한 다른 산업의 생산 활동 둔화에 따른 수요의 감소보다는 가격하락에 따른 민간부문의 소비량 증가가 더 큰 것으로 판단된다.

<표 5.3.8> 자연재해 시나리오에 따른 충청권 경제의 변화

	산업	최소	평균	최대	차트
생 산	농림수산	-1.00%	-1.86%	-4.99%	
	제조업	-0.49%	-0.86%	-2.27%	
	전력, 가스 및 수도	-0.33%	-0.57%	-1.39%	
	건설	-0.74%	-1.63%	-1.91%	
	운수 및 보관	-0.41%	-0.73%	-1.91%	
	서비스	-0.32%	-0.61%	-1.54%	
	전체	-0.47%	-0.88%	-2.35%	
가 격	농림수산	2.70%	5.32%	14.42%	
	제조업	0.25%	0.56%	1.22%	
	전력, 가스 및 수도	-0.21%	-0.19%	-0.86%	
	건설	1.08%	2.09%	1.33%	
	운수 및 보관	0.13%	0.48%	1.33%	
	서비스	0.12%	0.45%	1.01%	
소 비	농림수산	-2.29%	-4.63%	-12.87%	
	제조업	-0.17%	-0.46%	-1.41%	
	전력, 가스 및 수도	0.43%	0.59%	1.22%	
	운수 및 보관	-0.14%	-0.30%	-1.22%	
	서비스	-0.26%	-0.51%	-1.22%	
	전체	-0.28%	-0.59%	-1.56%	

주: 도소매 및 숙박, 통신 및 방송, 금융 및 보험 산업은 변화량이 미미하여 분석의 편의를 위해 서비스 산업으로 묶어서 정리한 결과임.

## 2.3 호남권

호남권은 향후 발생 가능한 자연재해 피해액 추정에서 가장 큰 피해를 입을 것으로 예측된 권역으로 자연재해로 인한 자본스톡 감소율이 전체 규모 대비 최소 0.21%에서 최대 2.18%가 적용된다. 산업별로는 건설업의 자본스톡이 최대 64.13%까지 감소하게 된다(표 5.3.9). 자본스톡 감소율에 따라 다지역 연산일반균형모형에 적용한 결과를 생산, 가격, 소비 부문의 변화를 중심으로 분석한다(표 5.3.10).

<표 5.3.9> 자연재해 시나리오에 따른 호남권의 자본스톡 감소율

	산업	자본스톡(십억 원)	최소	평균	최대
호 남 권	농림수산	11,604	-1.23%	-2.54%	-12.74%
	제조업	48,247	-0.11%	-0.22%	-1.13%
	전력가스수도	24,494	-0.02%	-0.04%	-0.20%
	건설	2,931	-6.17%	-12.79%	-64.13%
	운수 및 보관	14,090	-0.20%	-0.42%	-2.09%
	서비스	113,085	-0.04%	-0.07%	-0.37%
	전체	214,451	-0.21%	-0.43%	-2.18%

호남권에서 자연재해로 인해 가장 큰 피해를 입을 것으로 예상되는 산업은 농림수산업으로 생산이 최대 10.07%까지 감소하는 것으로 예측되었다. 향후 발생 가능한 호남권의 자연재해 피해액의 최대값이 4조 6,690억 원으로 2015년 현재 우리나라 자연재해 피해액 기록 중 최고 금액인 6조 원의 77.8%에 해당한다. 이와 같은 상당한 규모의 자연재해 피해가 호남권에 집중되어 지역 경제활동의 변화폭도 다른 지역보다 크게 나타났다.

다른 지역과 비교했을 때, 자연재해로 인한 호남권 경제의 변화에서 주목할 점은 농림수산업의 가격이 36.87% 증가한다는 점이다. 호남권은 농림수산업 부문에서 가장 많은 자본스톡을 축적하고 있는 만큼, 국내 농림수산 제품의 주요 생산지이다.<sup>12)</sup> 즉 호남권의 농림수산 제품이 지역내에서 공급되고 소비되는 비중보다 타지역으로 이출되는 비중이 상대적으로 높을 것으로 판단된다. 이런 특징을 가진 호남권의 농림수산업이 자연재해로 인해 자본스톡이 최대 12.74%까지 감소함에 따라 생산이 급감하

12) 2005년 농어업총조사(통계청, 2006)에서 전국 160개 군의 농업총생산액 순위에서 10위권 안에 호남권의 시군이 5개(나주시, 해남군, 익산시, 김제시, 고창군)가 포함되어 있다.



고 지역내 소비도 크게 감소하였지만, 다른 지역에서 호남권의 농림수산물 제품에 대한 수요가 상대적으로 크기 때문에 가격이 급등한 것으로 추측된다.

<표 5.3.10> 자연재해 시나리오에 따른 호남권 경제의 변화

	산업	최소	평균	최대	차트
생 산	농림수산물	-0.95%	-1.97%	-10.07%	
	제조업	-0.47%	-0.90%	-4.26%	
	전력, 가스 및 수도	-0.35%	-0.64%	-2.89%	
	건설	-1.57%	-3.67%	-4.24%	
	운수 및 보관	-0.46%	-0.88%	-4.24%	
	서비스	-0.39%	-0.80%	-4.71%	
	전체	-0.56%	-1.15%	-6.63%	
가 격	농림수산물	2.25%	5.05%	36.87%	
	제조업	0.27%	0.82%	8.32%	
	전력, 가스 및 수도	-0.16%	0.12%	6.31%	
	건설	1.97%	4.41%	9.75%	
	운수 및 보관	0.33%	0.99%	9.75%	
	서비스	0.36%	1.07%	10.76%	
	전체	0.36%	1.07%	10.76%	
소 비	농림수산물	-1.95%	-4.37%	-24.82%	
	제조업	-0.16%	-0.56%	-5.75%	
	전력, 가스 및 수도	0.51%	0.61%	-0.70%	
	운수 및 보관	-0.25%	-0.54%	-4.18%	
	서비스	-0.33%	-0.69%	-4.18%	
	전체	-0.36%	-0.83%	-5.55%	
	전체	-0.36%	-0.83%	-5.55%	

주: 도소매 및 숙박, 통신 및 방송, 금융 및 보험 산업은 변화량이 미미하여 분석의 편의를 위해 서비스 산업으로 묶어서 정리한 결과임.

## 2.4 경북권

경북권은 향후 발생 가능한 자연재해 피해액 추정에서 가장 적은 피해를 입을 것으로 예측된 권역으로 자연재해로 인한 자본스톡 감소율이 전체 규모 대비 최소 0.03%에서 최대 0.27%로 1% 미만이다. 산업별로는 건설업의 자본스톡이 최대 15.56%까지 감소하게 된다(표 5.3.11). 자본스톡 감소율에 따라 다지역 연산일반균형 모형에 적용한 결과를 생산, 가격, 소비 부문의 변화를 중심으로 분석한다(표 5.3.12).

<표 5.3.11> 자연재해 시나리오에 따른 경북권 지역의 자본스톡 감소율

	산업	자본스톡(십억 원)	최소	평균	최대
경북권	농림수산	6,478	-0.15%	-0.39%	-1.53%
	제조업	59,612	0.00%	-0.01%	-0.04%
	전력가스수도	34,271	0.00%	-0.01%	-0.03%
	건설	2,417	-1.52%	-4.00%	-15.56%
	운수보관	9,583	-0.08%	-0.22%	-0.86%
	서비스	127,180	0.00%	-0.01%	-0.04%
	전체	239,541	-0.03%	-0.07%	-0.27%

수도권, 충청권, 호남권과는 다르게 경북권에서는 농림수산업의 자본스톡 감소율이 낮아, 농림수산업의 피해가 다른 지역에 비해 상대적으로 작다. 이는 경북권의 농림수산업이 지형적으로 자연재해 피해가 덜한 곳에 생산지가 위치해 있거나, 생산하는 농작물 중 자연재해에 영향을 덜 받는 작물의 비중이 높을 것으로 추측된다.

경북권에서 자연재해에 가장 취약한 산업은 농림수산업이며 최대 1.26%의 생산이 감소하지만, 가격은 다른 지역과 다르게 소폭 하락하는 것으로 나타났다. 다른 지역에서는 농림수산업의 소비 감소 규모가 10 ~ 50%에 이른 것과는 대조적으로 경북권의 농림수산업 소비는 최대 1.53%가 감소한다. 결국, 경북권에서는 생산 감소에 따른 가격 상승보다는 소비 감소에 따른 가격 하락 요인이 더 크며, 타지역에서 발생하는 경북권 농림수산업에 대한 수요가 미치는 영향이 미미한 것으로 판단된다.

건설업의 경우, 최소, 평균 시나리오에서는 소폭이지만 생산량이 상승하는 것으로 나타났다. 건설업이 다른 지역에서 생산 활동이 가능하기 때문에 경우에 따라서는 자연재해 피해가 큰 타지역에서 발생하는 수요로 생산이 증가하는 것이 가능하다.

<표 5.3.12> 자연재해 시나리오에 따른 경북권 경제의 변화

	산업	최소	평균	최대	차트
생 산	농림수산	-0.12%	-0.31%	-1.26%	
	제조업	-0.20%	-0.36%	-1.07%	
	전력, 가스 및 수도	-0.15%	-0.25%	-0.62%	
	건설	0.32%	0.04%	-1.18%	
	운수 및 보관	-0.22%	-0.39%	-1.18%	
	서비스	0.00%	-0.02%	-0.07%	
	전체	-0.10%	-0.22%	-0.81%	
가 격	농림수산	-0.57%	-0.66%	-1.13%	
	제조업	-0.54%	-0.85%	-2.31%	
	전력, 가스 및 수도	-1.09%	-1.68%	-4.18%	
	건설	-0.06%	0.28%	-2.34%	
	운수 및 보관	-0.72%	-1.05%	-2.34%	
	서비스	-0.85%	-1.28%	-3.22%	
소 비	농림수산	0.10%	-0.13%	-1.53%	
	제조업	0.41%	0.63%	1.55%	
	전력, 가스 및 수도	1.08%	1.60%	2.63%	
	운수 및 보관	-0.13%	-0.23%	0.24%	
	서비스	0.03%	0.05%	0.24%	
	전체	0.13%	0.18%	0.46%	

주: 도소매 및 숙박, 통신 및 방송, 금융 및 보험 산업은 변화량이 미미하여 분석의 편의를 위해 서비스 산업으로 묶어서 정리한 결과임.

경북권의 전력 가스 및 수도 산업은 가격 측면에서 다른 지역과 대조적인 변화를 보였다. 수도권, 충청권, 호남권의 전력 가스 및 수도 산업의 경우, 자연재해로 인해 가격이 상승하는 모습을 우세하게 보였으나, 경북권에서는 지속적으로 하락하는 추세를 보인다. 전력 가스 및 수도의 생산이 감소하고, 소비는 증가함에 따라 가격 상승으로 이어져야 하는데, 다른 지역과 비교했을 때 오히려 큰 폭으로 하락하였다. 경북권

과 경남권은 우리나라 전력 가스 및 수도 산업의 자본스톡이 50%이상 집중되어 있는 곳으로, 특히 전력서비스의 주요 공급자다. 경북권에서 생산된 전력 가스 및 수도 산업의 서비스 또는 재화가 지역내에서 모두 소비되는 것이 아니고, 다른 지역의 제조업, 가계 등에서 소비 되는 비중이 높은 것으로 판단된다. 그 결과, 지역내 전력 가스 및 수도 산업의 소비가 증가하는 요인보다 다른 지역의 생산 활동 둔화에 따른 수요 감소 요인이 더 크게 영향을 주어 가격이 하락할 가능성이 있다.

경북권 내에서는 제조업의 소비가 지속적으로 증가하여, 다른 지역의 제조업 소비 감소와는 대조적인 모습이었다. 제조업의 생산이 감소하고 소비가 증가함에도 불구하고, 가격이 지속적으로 하락하였는데, 이는 경북권의 제조업이 타지역의 생산 활동 둔화에 따른 수요 감소에 더 크게 영향을 받는 것으로 보인다.

## 2.5 경남권

경남권은 향후 발생 가능한 자연재해 피해액 추정에서 경북권 다음으로 가장 적은 피해를 입을 것으로 예측되며, 자연재해로 인한 자본스톡 감소율이 전체 규모 대비 최소 0.04%에서 최대 0.16%로 경북권의 경우보다 더 작은 0.2% 미만이다. 산업별로는 건설업의 자본스톡이 최대 7.25% 감소하게 된다(표 5.3.13). 자본스톡 감소율에 따라 다지역 연산일반균형모형에 적용한 결과를 생산, 가격, 소비 부문의 변화를 중심으로 분석한다(표 5.3.14).

<표 5.3.13> 자연재해 시나리오에 따른 경남권의 자본스톡 감소율

	산업	자본스톡(십억 원)	최소	평균	최대
경 남 권	농림수산	5,509	-0.34%	-0.58%	-1.55%
	제조업	93,740	-0.02%	-0.04%	-0.10%
	전력가스수도	37,576	0.00%	-0.01%	-0.02%
	건설	3,841	-1.61%	-2.72%	-7.25%
	운수 및 보관	31,600	-0.03%	-0.06%	-0.15%
	서비스	189,875	-0.01%	-0.02%	-0.04%
	전체	362,141	-0.04%	-0.06%	-0.16%

경남권에서 자연재해에 가장 취약한 산업은 농림수산업으로 생산이 최대 1.07% 감소한다. 경북권의 농림수산업과 유사한 특징을 보여주고 있는데, 수도권, 충청권, 호남권에서는 농림수산업의 가격이 상승하는 것과 대조적으로 경북권과 경남권은 가격이 지속적으로 하락하였다. 이는 경북권과 경남권의 농림수산업이 지역내에서 소비되는 비중이 높아, 다른 지역의 수요보다 지역내 소비 감소요인이 가격에 더 크게 영향을 주는 것으로 판단된다.

반면, 경남권의 건설업도 경북권과 동일하게 최소, 평균 시나리오에서는 생산량이 소폭 상승하였다. 최대 시나리오에서도 생산량이 0.76% 감소하여 지금까지 살펴본 지역들의 건설업보다는 상대적으로 생산의 감소폭이 작았다. 이와 같은 결과는 경남권의 자연재해 피해액 규모가 가장 작은 것이 가장 근본적인 이유이며, 생산 현장의 이동이 가능한 건설업의 특성으로 경남권의 건설업이 자연재해 피해규모가 큰 호남권 등에서 발생하는 수요에 맞춰 생산이 늘어난 것으로 판단된다.

앞서 경북권의 전력 가스 및 수도 산업의 가격 하락이 경남권에서도 동일하게 나

타났으며, 경남권이 국내 전력 가스 및 수도 서비스의 주요 생산지로서 다른 지역에서 발생하는 수요에 상대적으로 더 민감한 것으로 판단된다. 농림수산업 다음으로 경남권에서 자연재해에 취약한 산업은 제조업으로 생산이 최대 0.92% 감소하는 것으로 나타났다.

<표 5.3.14> 자연재해 시나리오에 따른 경남권 경제의 변화

	산업	최소	평균	최대	차트
생 산	농림수산	-0.21%	-0.36%	-1.07%	
	제조업	-0.17%	-0.30%	-0.92%	
	전력, 가스 및 수도	-0.15%	-0.26%	-0.67%	
	건설	0.17%	0.21%	-0.76%	
	운수 및 보관	-0.19%	-0.30%	-0.76%	
	서비스	-0.02%	-0.02%	0.09%	
	전체	-0.10%	-0.18%	-0.53%	
가 격	농림수산	-0.22%	-0.39%	-1.52%	
	제조업	-0.43%	-0.76%	-2.43%	
	전력, 가스 및 수도	-0.92%	-1.52%	-4.49%	
	건설	0.07%	0.07%	-2.93%	
	운수 및 보관	-0.59%	-0.99%	-2.93%	
	서비스	-0.58%	-1.01%	-3.24%	
소 비	농림수산	-0.23%	-0.41%	-1.30%	
	제조업	0.36%	0.63%	1.98%	
	전력, 가스 및 수도	-0.13%	-0.14%	0.34%	
	운수 및 보관	0.02%	0.03%	0.41%	
	서비스	0.01%	0.05%	0.41%	
	전체	0.08%	0.17%	0.71%	

주: 도소매 및 숙박, 통신 및 방송, 금융 및 보험 산업은 변화량이 미미하여 분석의 편의를 위해 서비스 산업으로 묶어서 정리한 결과임.

## 2.6 강원제주권

강원제주권의 자연재해 피해액 규모는 호남권과 수도권 보다는 작고, 경북권, 경남권보다 큰 중간 수준이지만, 자본스톡의 규모가 6개 권역 중 가장 작아 상대적으로 자본스톡 감소율이 크다. 자연재해로 인해 강원제주권의 자본스톡은 최소 0.53%에서 최대 2.98%까지 감소한다(표 5.3.15). 자본스톡 감소율에 따라 다지역 연산일반균형 모형에 적용한 결과를 생산, 가격, 소비 부문의 변화를 중심으로 분석한다(표 5.3.16).

<표 5.3.15> 자연재해 시나리오에 따른 강원제주권의 자본스톡 감소율

	산업	자본스톡(십억 원)	최소	평균	최대
강원 제 주 권	농림수산	4,804	-1.06%	-2.58%	-5.96%
	제조업	8,724	-0.17%	-0.42%	-0.97%
	전력가스수도	2,191	-0.39%	-0.94%	-2.18%
	건설	1,279	-13.53%	-33.02%	-76.37%
	운수보관	5,113	-1.73%	-4.21%	-9.75%
	서비스	53369	-0.12%	-0.28%	-0.66%
	전체	75,480	-0.53%	-1.29%	-2.98%

강원제주권에서 자연재해로 인해 가장 큰 피해를 입는 산업은 농림수산업으로 생산이 최대 4.67%까지 감소한다. 다음으로 제조업, 건설업, 운수 및 보관 산업의 생산이 크게 감소하여 자연재해에 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 다른 권역과 다르게, 강원제주권에서는 운수 및 보관 산업의 생산규모 감소가 다소 큰데, 강원도는 지형특성상 타지역에 비해 도로를 건설하는데 제약이 많다. 또한 제주도는 섬이라는 특수한 상황으로, 주요 도로가 자연재해로 인해 유실되거나 파괴되고 항공 및 선박 운항서비스가 어려울 때, 대체할 수 있는 도로 또는 운송수단이 제한적이다. 이러한 강원제주권의 특징 때문에 운수 및 보관 산업이 타지역에 비해 자연재해로 인한 영향을 상대적으로 더 크게 받는 것으로 판단된다.

<표 5.3.16> 자연재해 시나리오에 따른 강원제주권 경제의 변화

	산업	최소	평균	최대	차트
생 산	농림수산	-0.77%	-1.86%	-4.67%	
	제조업	-0.68%	-1.57%	-4.55%	
	전력, 가스 및 수도	-0.37%	-0.84%	-2.14%	
	건설	-3.52%	-9.88%	-4.32%	
	운수 및 보관	-0.63%	-1.52%	-4.32%	
	서비스	-0.36%	-0.97%	-2.71%	
	전체	-0.89%	-2.37%	-7.34%	
가 격	농림수산	1.38%	3.82%	9.44%	
	제조업	0.49%	1.25%	2.58%	
	전력, 가스 및 수도	0.64%	2.09%	5.65%	
	건설	4.19%	12.18%	7.10%	
	운수 및 보관	0.89%	2.61%	7.10%	
	서비스	0.54%	1.75%	5.08%	
소 비	농림수산	-0.93%	-2.90%	-6.81%	
	제조업	-0.12%	-0.59%	-1.66%	
	전력, 가스 및 수도	0.07%	0.13%	0.60%	
	운수 및 보관	-0.52%	-1.55%	-1.87%	
	서비스	-0.25%	-0.74%	-1.87%	
	전체	-0.29%	-0.88%	-2.21%	

주: 도소매 및 숙박, 통신 및 방송, 금융 및 보험 산업은 변화량이 미미하여 분석의 편의를 위해 서비스 산업으로 묶어서 정리한 결과임.



## 2.7 거시경제 지표의 변화

6개 권역에서 향후 발생 가능한 자연재해 피해액의 최소값, 평균값, 최대값을 적용 하였을 때, 자본스톡은 최소 0.13%에서 최대 0.52%까지 감소하며, 이때 국내총생산은 최소 0.54%에서 최대 2.06%까지 감소하였다(표 5.3.17). 이를 금액으로 표시하면, 향후 자연재해로 인한 간접적인 피해액은 최소 4조 6,000억 원에서 최대 17조 5,500억 원에 달할 것으로 추정된다.

<표 5.3.17> 자연재해 시나리오에 따른 거시경제지표의 변화

항목	최소		평균		최대		차트
	자본스톡 감소	자연재해 발생	자본스톡 감소	자연재해 발생	자본스톡 감소	자연재해 발생	
국내총생산	0.13%	-0.54%	0.21%	-0.86%	0.52%	-2.06%	
수도권	0.13%	-0.80%	0.17%	-1.09%	0.23%	-1.49%	
충청권	0.12%	-0.46%	0.23%	-0.87%	0.61%	-2.31%	
호남권	0.21%	-0.57%	0.43%	-1.18%	2.18%	-6.93%	
경북권	0.03%	-0.07%	0.07%	-0.17%	0.27%	-0.67%	
경남권	0.04%	-0.09%	0.06%	-0.15%	0.16%	-0.40%	
강원제주권	0.53%	-0.81%	1.29%	-2.18%	2.98%	-6.67%	

지역내총생산은 최소, 평균 시나리오에서는 강원제주권의 지역내총생산 감소폭이 가장 컸고, 최대 시나리오에서는 호남권의 지역내총생산 감소폭이 6.93%로 가장 컸다. 따라서 자연재해로 인해 큰 피해가 예상되는 지역은 호남권과 강원제주권이라 할 수 있다. 반면, 경남권은 최대 시나리오에서도 1% 미만으로 지역내총생산이 감소하여, 향후 자연재해로 인한 피해는 크지 않을 것으로 예상된다.

한편, 호남권과 강원제주권의 지역내총생산 감소폭이 크다고 해서 이 두 지역이 자연재해에 가장 취약하고, 경남권의 지역내총생산 감소폭이 작다고 해서 자연재해에

가장 회복탄력적인 지역을 의미하는 것은 아니다. 자본스톡 감소 규모 대비 지역내총생산 감소 규모를 살펴봐야 자연재해에 취약한 지역과 회복탄력적인 지역의 더 명확하게 드러난다. 0.1% ~ 0.2%의 자본스톡 감소율이 적용되었을 때, 최소 자연재해 시나리오에서 수도권의 지역내총생산은 0.8% 감소, 충청권은 0.46% 감소, 최대 자연재해 시나리오의 경남권은 0.4% 감소하였다. 즉 유사한 규모의 자본스톡 감소에도 불구하고 지역내총생산 감소규모는 지역별로 달랐으며, 감소폭이 가장 작은 경남권이 다른 지역에 비해 자연재해에 대한 회복탄력성이 크고, 감소폭이 가장 큰 수도권이 자연재해에 대한 취약성이 클 가능성이 있는 것으로 판단된다.

### 3. 정책시나리오 적용 결과

앞서 살펴본 저영향개발기법에 따라 불투수면 면적을 저감시키는 정책시나리오를 구성하였다. 자연재해 시나리오의 최소, 평균, 최대와 비교하기 위해 정책시나리오에 따른 직접피해액도 강수량 자료의 최소, 평균, 최대로 적용하여 본 연구에서 구축한 패널모형을 통해 추정하였다(표 5.3.18).

<표 5.3.18> 정책시나리오에 따른 자연재해 피해액 변화(단위: 십억 원)

지역		자연재해 발생 (최소)	정책 시나리오 (최소)	증감	자연재해 발생 (평균)	정책 시나리오 (평균)	증감	자연재해 발생 (최대)	정책 시나리오 (최대)	증감
불투수면	수도권	1,654	1,552	-6.17%	2,156	1,991	-7.65%	2,863	2,648	-7.51%
	충청권	291	271	-6.87%	545	509	-6.61%	1,436	1,338	-6.82%
	호남권	449	422	-6.01%	931	876	-5.91%	4,669	4,390	-5.98%
	경북권	63	58	-7.94%	166	155	-6.63%	646	605	-6.35%
	경남권	131	122	-6.87%	222	208	-6.31%	591	555	-6.09%
저감	강원 제주권	398	370	-7.04%	971	902	-7.11%	2,246	2,088	-7.03%
	합계	2,985	2,795	-6.37%	4,991	4,640	-7.03%	12,451	11,623	-6.65%

권역별로 토지이용현황에 따라 불투수면을 투수층으로 바꿀 수 있는 면적에 차이가 있어 자연재해 피해액에 차이가 있다. 불투수면 면적을 저감하는 정책을 적용한

결과, 전체 직접피해액은 6.37% ~ 7.03% 감소하는 것으로 나타났다. 직접피해액 감소폭이 가장 큰 권역은 경북권으로 최대 7.94% 감소한다. 반면, 호남권은 감소폭이 5.98% ~ 6.01%로 다소 적었다. 이는 향후 자연재해 피해액이 크게 증가할 것으로 예측되는 호남권이 정책적으로 자연재해 피해를 저감시킬 수 있는 규모도 다른 지역에 비해 상대적으로 적다는 것을 의미한다. 따라서 향후 호남권의 자연재해 관리는 점점 더 어려운 상황에 놓일 것으로 예상된다.

이와 같이 정책시나리오에 따른 직접피해액의 변화와 더불어 간접피해액의 변화, 즉 파급효과의 변화를 살펴 볼 필요가 있다. 정책시나리오를 적용하여 추정된 직접피해액의 최소값, 평균값, 최대값을 다지역 연산일반균형모형에 적용하고, 그 결과를 자연재해 시나리오 결과와 비교하고 분석한다. 정책시나리오의 효과는 생산부문의 변화와 거시경제 지표의 변화를 중심으로 살펴본다.

### 3.1 생산부문

6개 권역의 전체 생산량을 기준으로 생산부문에서 발생하는 정책 효과를 분석한다 (표 5.3.19). 자연재해의 최소, 평균, 최대 시나리오에 대응하여 불투수면 면적을 저감하는 정책시나리오도 적용되었다. 그리고 자연재해 발생과 정책 적용이 없는 기본모형 결과와의 비교를 통해 회복 수준도 살펴본다.

모든 시나리오에서 불투수면 면적 저감을 통해 생산량이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 기본모형 대비 정책시나리오에 따른 회복수준을 살펴보면, 직접피해액 규모가 가장 작은 최소 시나리오에서 회복수준이 높으며, 권역별로는 직접피해액 규모가 가장 작았던 경남권이 기본모형 생산의 99.95%까지 회복한다. 반면, 강원제주권은 직접피해액 규모가 모든 시나리오에서 3위였음에도 불구하고, 최소 및 평균 시나리오에서 가장 낮은 회복 수준, 각각 98.5%, 95.73%로 가장 낮았다. <표 5.3.18>의 정책시나리오에 따른 직접피해액의 감소 규모가 강원제주권의 경우 7%대로 다른 지역에 비해 높은 편임에도 파급효과 부분에서는 회복수준이 낮았다. 최대 시나리오에서는 강원제주권의 회복수준이 전 지역 중 가장 낮은 93.53%를 나타내었다. 이는 강원제주권의 산업이 자본집약적인 산업의 비중이 낮아, 정책시나리오로 자연재해 시나리오 대비 자본스톡이 증가하더라도 생산 활동이 증가하는 규모가 다른 지역에 비해 낮은 것으로 판단된다.

한편, 불투수면 면적을 저감시킨 정책에도 불구하고, 모든 권역의 생산이 자연재해

발생이 없는 정상상태, 즉 기본모형의 생산 수준까지는 회복하지 못하는 것으로 나타났다.

<표 5.3.19> 정책시나리오에 따른 권역별 전체 생산의 회복 수준(단위: 조 원)

	기본 모형 (A)	최소			평균			최대		
		자연 재해	정책 (B)	회복 수준 (B/A)	자연 재해	정책 (C)	회복 수준 (C/A)	자연 재해	정책 (D)	회복 수준 (D/A)
수도권	814.69	807.91	808.38	99.23%	805.43	806.26	98.97%	801.60	802.86	98.55%
충청권	199.08	198.14	198.21	99.56%	197.33	197.45	99.18%	194.40	194.74	97.82%
호남권	196.96	195.86	195.94	99.48%	194.70	194.83	98.92%	183.91	184.90	93.87%
경북권	201.80	201.61	201.62	99.91%	201.35	201.38	99.79%	200.17	200.28	99.25%
경남권	335.18	334.83	334.85	99.90%	334.56	334.61	99.83%	333.41	333.53	99.51%
강원 제주권	56.05	55.55	55.59	99.18%	54.72	54.82	97.82%	51.93	52.42	93.53%
전체	1,803.77	1,793.90	1,794.58	99.49%	1,788.09	1,789.35	99.20%	1,765.43	1,768.73	98.06%

<표 5.3.20>은 권역별 산업별 생산의 변화를 정리한 것이다. 수도권부터 살펴보면, 농림수산업의 회복수준이 90.61% ~ 94.67%로 가장 낮고, 전력 가스 및 수도 산업의 회복수준이 가장 높은 99.75%를 나타내었다.

충청권에서는 최소와 평균 시나리오에서는 모든 산업의 회복수준이 98% 이상으로 큰 차이가 없으나, 최대 시나리오에서는 농림수산업의 회복수준이 95.35%로 가장 낮았다. 하지만, 수도권의 농림수산업 회복수준이 95% 미만인 것과 비교했을 때, 충청권의 농림수산업은 자연재해에 영향을 상대적으로 적게 받고 회복수준도 높은 편이다.

호남권과 강원제주권이 지역의 자본스톡 대비 자연재해 피해액 규모가 큰 지역인 만큼, 최대 시나리오에서는 산업 생산의 회복수준이 93.53% ~ 93.87%로 낮았다. 특히, 호남권과 강원제주권의 건설업은 최대 시나리오에서 생산규모가 71.03% ~ 74.6% 수준으로 회복되는데 그쳐 전체 권역별 산업 중에서 가장 회복수준이 낮았다.

경북권은 자연재해로 인한 직접피해액 규모가 작은 지역으로 최소 및 평균 시나리오에서는 생산의 회복수준이 모두 98%이상이었다. 최소와 평균 시나리오에서는 건설업의 회복수준이 100%를 넘었다. 경북권과 더불어 직접피해액 규모가 작은 경남권에

서도 건설, 서비스 산업 생산이 100% 이상으로 회복되었다. 특히, 경남권의 건설업은 최소, 평균, 최대 시나리오에서 모두 100% 이상으로 회복하여, 불투수면 면적 저감과 같은 정책을 통해 자연재해로 인한 피해를 상쇄하는 것도 가능할 것으로 예상된다.

강원제주권은 언급한 바와 같이 전체 생산량의 회복수준이 가장 낮은 지역이었다. 이는 직접피해액 규모가 수도권, 호남권 보다 작음에도 불구하고 강원제주권의 건설업의 회복 수준이 71.03% ~ 96.74%로 낮은 점에서 기인하는 것으로 판단된다. 즉, 강원제주권의 건설업은 정책시나리오로 인해 자연재해 시나리오 대비 자본스톡이 증가함에도 그에 따른 생산 증가 규모가 다소 작은 것으로 보인다.

<표 5.3.20> 정책시나리오에 따른 권역별 산업별 생산 변화(단위: 조 원)

	산업	기본 모형 (A)	최소			평균			최대		
			자연 재해	정책 (B)	회복 수준 (B/A)	자연 재해	정책 (C)	회복 수준 (C/A)	자연 재해	정책 (D)	회복 수준 (D/A)
수도권	농림수산	6.2	5.8	5.8	94.67%	5.7	5.7	93.09%	5.5	5.6	90.61%
	제조업	247.6	245.4	245.6	99.19%	244.5	244.8	98.87%	242.3	242.8	98.09%
	전력가스및수도	8.4	8.4	8.4	99.75%	8.4	8.4	99.61%	8.3	8.3	99.12%
	건설	68.0	66.7	66.8	98.23%	66.3	66.5	97.76%	66.2	66.3	97.55%
	운수및보관	33.4	33.2	33.2	99.44%	33.1	33.1	99.21%	32.9	32.9	98.59%
	서비스	451.2	448.4	448.6	99.43%	447.4	447.8	99.25%	446.4	446.9	99.05%
충청권	농림수산	8.6	8.5	8.5	99.08%	8.4	8.4	98.26%	8.2	8.2	95.35%
	제조업	100.7	100.2	100.2	99.55%	99.8	99.9	99.21%	98.4	98.6	97.91%
	전력가스및수도	4.6	4.6	4.6	99.69%	4.6	4.6	99.48%	4.5	4.5	98.72%
	건설	17.5	17.4	17.4	99.31%	17.3	17.3	98.46%	16.7	16.8	95.49%
	운수및보관	4.3	4.3	4.3	99.62%	4.2	4.2	99.32%	4.2	4.2	98.23%
	서비스	63.4	63.2	63.2	99.71%	63.0	63.1	99.43%	62.5	62.5	98.57%
호남권	농림수산	11.4	11.3	11.3	99.11%	11.2	11.2	98.15%	10.3	10.3	90.55%
	제조업	98.4	97.9	98.0	99.56%	97.5	97.6	99.16%	94.2	94.5	96.06%
	전력가스및수도	5.4	5.4	5.4	99.67%	5.4	5.4	99.40%	5.3	5.3	97.32%
	건설	16.2	16.0	16.0	98.52%	15.6	15.7	96.54%	11.7	12.1	74.60%
	운수및보관	5.5	5.5	5.5	99.57%	5.4	5.4	99.18%	5.3	5.3	96.07%
	서비스	60.0	59.8	59.8	99.64%	59.6	59.6	99.25%	57.2	57.4	95.62%
경북권	농림수산	6.5	6.5	6.5	99.89%	6.4	6.4	99.70%	6.4	6.4	98.82%
	제조업	109.1	108.8	108.9	99.82%	108.7	108.7	99.67%	107.9	108.0	99.01%
	전력가스및수도	6.0	6.0	6.0	99.87%	6.0	6.0	99.77%	6.0	6.0	99.43%
	건설	13.7	13.7	13.7	100.30%	13.7	13.7	100.02%	13.4	13.4	98.27%
	운수및보관	5.0	5.0	5.0	99.79%	5.0	5.0	99.64%	4.9	4.9	98.91%
	서비스	61.6	61.6	61.6	100.00%	61.6	61.6	99.98%	61.6	61.6	99.93%
경남권	농림수산	7.0	7.0	7.0	99.81%	7.0	7.0	99.66%	6.9	6.9	99.00%
	제조업	187.3	187.0	187.0	99.84%	186.7	186.8	99.72%	185.6	185.7	99.16%
	전력가스및수도	7.4	7.4	7.4	99.86%	7.3	7.3	99.76%	7.3	7.3	99.38%
	건설	22.5	22.6	22.6	100.16%	22.6	22.6	100.18%	22.6	22.6	100.26%
	운수및보관	12.2	12.2	12.2	99.83%	12.2	12.2	99.72%	12.1	12.1	99.30%
	서비스	98.8	98.8	98.8	99.98%	98.8	98.8	99.98%	98.9	98.9	100.08%
강원제주권	농림수산	5.5	5.4	5.4	99.29%	5.4	5.4	98.27%	5.2	5.2	95.71%
	제조업	9.5	9.4	9.4	99.37%	9.3	9.3	98.56%	9.1	9.1	95.92%
	전력가스및수도	0.5	0.5	0.5	99.66%	0.5	0.5	99.23%	0.5	0.5	98.07%
	건설	7.5	7.2	7.2	96.74%	6.7	6.8	90.94%	5.0	5.3	71.03%
	운수및보관	2.3	2.3	2.3	99.42%	2.3	2.3	98.59%	2.2	2.3	96.09%
	서비스	30.7	30.6	30.6	99.67%	30.4	30.5	99.10%	29.9	30.0	97.60%

### 3.2 거시경제지표

불투수면 면적 저감에 따른 국내총생산과 지역내총생산의 변화를 살펴본다(표 5.3.21). 국내총생산의 경우, 정책시나리오에 의해 기본모형 대비 98.12% ~ 99.49% 범위로 회복된다. 자연재해 시나리오에 따른 국내총생산과 정책 적용 후의 국내총생산의 차이는 최소 3,229억 원에서 최대 1조 5,181억 원으로, 불투수면 면적 저감 정책이 갖는 간접적 편익으로 볼 수 있다.

<표 5.3.21> 정책시나리오에 따른 국내총생산과 지역내총생산의 회복 수준(단위: 조 원)

	기본 모형 (A)	최소			평균			최대		
		자연 재해	정책 (B)	회복 수준 (B/A)	자연 재해	정책 (C)	회복 수준 (C/A)	자연 재해	정책 (D)	회복 수준 (D/A)
국내 총생산	851.98	847.35	847.67	99.49%	844.65	845.25	99.21%	834.44	835.96	98.12%
지 역 내 총 생 산	수도권	411.27	407.98	99.26%	406.80	407.20	99.01%	405.14	405.73	98.65%
	충청권	90.95	90.53	99.57%	90.16	90.21	99.19%	88.85	89.00	97.86%
	호남권	87.74	87.25	99.47%	86.71	86.77	98.89%	81.66	82.11	93.58%
	경북권	86.69	86.63	99.94%	86.54	86.55	99.84%	86.10	86.14	99.37%
	경남권	144.32	144.20	99.92%	144.11	144.12	99.86%	143.75	143.78	99.63%
	강원 제주권	31.01	30.76	99.25%	30.33	30.39	98.00%	28.94	29.18	94.12%

지역내총생산의 경우, 직접피해액 규모가 컸던 호남권, 강원제주권의 회복수준이 각각 93.58% ~ 99.47%, 94.12% ~ 99.25%로 다른 권역에 비해 낮았다. 경북권과 경남권은 직접피해액 규모가 작았던 만큼, 모든 시나리오에서 99% 이상의 회복을 보여주었다. 자연재해 시나리오에 따른 지역내총생산과 정책 적용 후의 지역내총생산의 차이는 수도권에서 2,277억 원 ~ 5,936억 원, 충청권에서 314억 원 ~ 1,497억 원, 호남권에서 333억 원 ~ 4,546억 원, 경북권에서 41억 원 ~ 395억 원, 경남권은 74억 원 ~ 366억 원, 강원제주권은 190억 원 ~ 2,442억 원이었다. 정책시나리오의 간접적

편익이 지역별로 차이가 있으며, 호남권에서는 불투수면 면적이 감소하였을 때 얻을 수 있는 간접적인 편익이 최대 4,546억 원에 달할 것으로 예상된다. 이와 같이 본 연구는 다지역 연산일반균형모형을 통해 자연재해 저감과 관련된 정책이 갖는 간접적인 편익을 계량적으로 제시하였으며, 이는 정책수립자 및 예산 담당자의 효율적인 의사 결정에 기여할 수 있다.

#### 4. 소결

지금까지 자연재해 시나리오를 통해 향후 발생 가능한 자연재해의 경제적 파급효과를 분석하였다. 그리고 자연재해가 경제에 미치는 부정적 영향이 불투수면 면적을 저감하는 정책을 통해 감소할 수 있는 규모가 어느 정도인지 정책시나리오를 통해 비교하고 분석하였다. 두 가지 측면에서 분석결과를 고찰하고자 한다.

첫 번째는 향후 발생가능한 자연재해의 직접피해액이 지역과 산업에 간접적으로 미치는 파급효과를 분석하였다. 6개 권역에서 향후 발생 가능한 자연재해 피해액의 최소값, 평균값, 최대값을 적용하였을 때, 국내총생산은 최소 0.54%에서 최대 2.06%까지 감소하였다. 이와 같은 국내총생산의 하락은 최소 4조 6,000억 원에서 최대 17조 5,500억 원에 해당하는 규모이며, 2014년 국내총생산 1,342조 원(2005년 불변가격) 대비 0.34% ~ 1.31%에 달한다. 기존의 복구중심 자연재해 정책을 유지한다면, 최악의 경우 국내총생산의 1.31%에 달하는 피해를 고스란히 겪어야 하며, 그 피해를 복구하기 위해 필요한 예산과 자원의 규모는 훨씬 더 커질 수밖에 없다. 따라서 앞으로 예상되는 자연재해 피해 규모를 인지하고, 자연재해 피해 규모를 근본적으로 저감시킬 수 있는 예방 중심정책 전환과 투자가 필요하다.

지역에 미치는 영향을 살펴보면, 최대 자연재해 시나리오에서 호남권과 강원제주권의 지역내총생산이 6% 이상으로 크게 하락하였다. 호남권의 경우, 자연재해 시나리오에 따라 지역내총생산이 0.57% ~ 6.93% 감소하는 것으로 예측되었으며, 이는 4,960억 원 ~ 6조 840억 원에 달하는 규모이다. 강원제주권은 지역내총생산이 0.81% ~ 6.67% 하락하며, 금액규모는 2,513억 원에서 2조 689억 원으로 호남권보다 작다.

반면, 수도권은 지역내총생산이 0.8% ~ 1.49% 하락하지만, 금액규모는 3조 2,909억 원에서 6조 1,354억 원에 달해 절대적인 규모 측면에서는 가장 간접적인 피해가

큰 지역이다. 수도권은 경제규모가 가장 큰 지역이기 때문에 지역내총생산의 하락폭은 작지만, 국가 경제에서 차지하는 비중이 높은 만큼 앞으로 예상되는 자연재해 피해를 줄이려는 노력이 필요하다. 결과적으로 지역내총생산 감소폭과 간접피해액의 절대 규모를 고려할 때, 호남권, 강원제주권, 수도권이 앞으로 자연재해로 인해 큰 피해를 입을 가능성이 높은 것으로 확인되었다. 따라서 향후 발생 가능한 대규모의 자연재해로 인한 피해를 저감시키기 위해서, 중앙정부는 지역경제 규모 대비 피해가 클 것으로 예상되는 호남권과 강원제주권의 지방정부에 사전적으로 재해피해 규모를 줄일 수 있도록 유도하고 더불어 재정적 지원도 늘릴 필요가 있다.

한편, 자연재해가 각 지역의 산업에 미치는 간접적인 영향을 분석한 결과, 지역별로 생산 감소 규모는 차이가 있지만, 주로 농림수산업, 건설업, 제조업의 생산이 둔화되는 것으로 나타났다. 자연재해로 큰 피해를 겪는 산업이 지역별로 차이가 있을 것이라는 기대와 다르게 유사한 양상을 갖고 있는 것으로 판단된다. 우리나라의 경우 국토면적도 작고, 인구도 과밀하여 지역간 지리적, 경제적 독립성이 크지 않아 지역적으로 차이가 나기 어려운 점도 존재한다. 그럼에도 지역별로 특징적인 점도 일부 확인할 수 있었는데, 경북권과 경남권의 건설업은 해당 지역의 자연재해로 인한 지역내 생산 감소보다 다른 지역에서 발생하는 수요가 증가하는 규모가 다소 커 이 두 지역의 건설업은 자연재해 발생 이전보다 오히려 생산이 소폭 증가하는 모습도 보였다. 수도권과 호남권의 경우, 농림수산업의 생산 감소와 소비 감소 규모가 큰데도 불구하고, 가격이 각각 50.68%, 36.87%로 큰 폭으로 상승한다. 이는 수도권의 경우, 인구 규모가 큰 만큼 농림수산업에 대한 수요가 커서 가격이 상승하고, 호남권의 경우, 지역의 농림수산업이 다른 지역에 공급하는 비중이 높아, 가격 상승폭이 다른 지역보다 높은 것으로 판단된다. 특히, 농림수산업은 산업의 특성 상, 자연재해로 생산지가 파괴 되면 다시 회복하는데 장시간이 소요되므로 사전적으로 피해를 최소화하는 것이 필요하다.

두 번째는 불투수면 면적을 저감시키는 정책이 지역별 자연재해 피해를 저감시킬 수 있는지, 그 규모는 어떠한지에 대하여 분석하였다. 저영향개발기법에 따른 불투수면이 투수면으로 전환되는 정책시나리오를 구성하고 제 4 장의 패널모형을 통해 자연재해 직접피해액을 추정하였다. 그 결과, 직접피해액이 6.37% ~ 7.03% 감소하였고, 이는 최소 1,900억 원에서 최대 8,280억 원에 달하는 금액으로 정책의 직접적인 편익으로 볼 수 있다. 지역별로는 호남권의 직접피해액 저감 규모가 5.98% ~ 6.01%로



가장 낮았으며, 경북권이 최대 7.94%의 피해액이 감소하는 것으로 나타났다. 결국, 향후 자연재해 피해액이 크게 증가할 것으로 예측되는 호남권이 정책적으로 자연재해 피해를 저감시킬 수 있는 규모도 다른 지역에 비해 작은 것으로 나타났다.

한편, 정책시나리오에 따른 자연재해의 경제적 파급효과를 살펴보면, 국내총생산이 자연재해 시나리오 대비 최소 0.04%에서 최대 0.18% 증가하였다. 이는 3,229억 원에서 최대 1조 5,181억 원에 달하는 금액이며, 정책의 간접적인 편익으로 볼 수 있다. 다만, 정책시나리오에 따른 국내총생산의 증가가 기본모형의 국내총생산 수준까지 회복하지는 못했다.

지역내총생산도 최소 0.03%에서 최대 0.84% 증가하였지만, 기본모형의 지역내총생산 수준까지 회복하지는 못했다. 호남권의 지역내총생산은 최대 0.56% 증가하여 4,546억 원에 달하는 간접적인 편익이 예상되지만, 기본모형과 비교했을 때 회복수준이 93.58%로 가장 낮았다. 결국, 호남권은 불투수면 면적 저감에 따른 직접피해액 감소 규모도 가장 작고, 지역내총생산의 회복수준도 가장 낮아 호남권 지방정부의 자연재해 관리계획 및 정책은 점점 더 어려운 상황에 놓일 것으로 예상된다. 따라서 호남권 지방정부는 불투수면 면적 저감과 같은 도시계획을 통한 근본적인 자연재해 예방과 더불어, 제방건설, 홍수예경보시스템 등 구조적, 비구조적 수단들에 대한 검토도 필요하다.

## 제 4 절 민감도 분석

연산일반균형모형에 포함된 파라메타들의 값들은 계량경제모형을 통해 추정하거나 사회계정행렬로부터 직접 계산하는 정산과정을 통해 도출한다. 하지만 현실적으로 계량경제모형을 통해 파라메타를 추정하는데 필요한 자료가 부족하여 정산과정을 통해 대부분의 파라메타를 도출하고 있는 실정이다. 대표적으로 CET 함수와 CES 함수에 적용되는 탄력성의 경우, 사회계정행렬로부터 직접 도출될 수 없기 때문에 선행연구에서 도출한 값들을 활용하고 있다.

앞에서 언급한 바와 같이 연산일반균형모형은 국가 및 지역의 경제구조 특징을 수학적식으로 표현한 방정식 체계를 기본구조로 가지고 있기 때문에 모형을 구성하고 있는 주요 파라미터 값에 따라 서로 다른 해가 도출될 수 있다. 그러므로 분석결과의 신뢰성을 확보하기 위해서는 동일한 시나리오를 기준으로 주요 파라메타를 변화시키면서, 도출된 해의 범위가 안정적인 수준에서 일정한 방향성을 가지고 변화하고 있는지 확인이 필요하다. 이러한 모형의 안정성을 확인하는 방법은 주요 변수에 대한 민감도 분석(sensitivity analysis)을 통해 이루어진다.

본 연구에서는 모형 내에서 정산과정을 통해 결정되지 않고, 선행연구의 결과를 활용하여 적용한 불변대체탄력성과 불변전환탄력성에 대하여 민감도 분석이 필요하다. 이러한 민감도 분석을 통해 모형의 안정성과 도출된 해의 신뢰성을 판단하였다.

민감도 분석 결과를 살펴보면, 불변대체탄력성이  $\pm 3\%$ ,  $\pm 5\%$  변화할 때, 국내총생산은  $-0.025\% \sim 0.024\%$ 로 안정적으로 반응하고, 불변전환탄력성에 대해서도  $-0.511\% \sim -0.026\%$ 로 안정적으로 변화하였다(표 5.4.1). 지역내총생산의 경우, 호남권과 강원제주권이 자연재해 피해액 규모가 큰 만큼 상대적으로 변동폭이 컸지만, 모든 권역이 모든 시나리오에서 3% 이내의 안정적인 모습을 보여주었다(표 5.4.2).

<표 5.4.1> 민감도 분석(국내총생산)

자연재해 시나리오	불변대체탄력성				불변전환탄력성			
	-5%	-3%	+3%	+5%	-5%	-3%	+3%	+5%
최소	-0.025%	-0.015%	0.014%	0.024%	-0.327%	-0.175%	-0.026%	-0.402%
평균	-0.023%	-0.013%	0.013%	0.021%	-0.334%	-0.179%	-0.023%	-0.401%
최대	-0.011%	-0.006%	0.006%	0.010%	-0.292%	-0.150%	-0.073%	-0.511%

<표 5.4.2> 민감도 분석(지역내총생산)

자연재해 시나리오	지역	불변대체탄력성				불변전환탄력성			
		-5%	-3%	+3%	+5%	-5%	-3%	+3%	+5%
최소	수도권	-0.018%	-0.011%	0.010%	0.016%	-0.536%	-0.317%	0.237%	0.191%
	충청권	-0.029%	-0.017%	0.016%	0.027%	-0.400%	-0.198%	-0.175%	-0.841%
	호남권	-0.028%	-0.017%	0.017%	0.028%	0.140%	0.158%	-0.709%	-1.910%
	경북권	-0.041%	-0.024%	0.024%	0.039%	0.167%	0.165%	-0.685%	-1.991%
	경남권	-0.026%	-0.016%	0.016%	0.026%	-0.222%	-0.128%	0.023%	-0.241%
	강원 제주권	-0.056%	-0.034%	0.033%	0.054%	-0.541%	-0.349%	0.499%	1.016%
평균	수도권	-0.017%	-0.010%	0.009%	0.014%	-0.573%	-0.341%	0.266%	0.243%
	충청권	-0.026%	-0.015%	0.015%	0.024%	-0.412%	-0.205%	-0.167%	-0.830%
	호남권	-0.022%	-0.013%	0.013%	0.022%	0.167%	0.176%	-0.742%	-1.980%
	경북권	-0.038%	-0.023%	0.022%	0.037%	0.188%	0.180%	-0.708%	-2.041%
	경남권	-0.025%	-0.015%	0.015%	0.025%	-0.214%	-0.123%	0.015%	-0.257%
	강원 제주권	-0.038%	-0.023%	0.022%	0.036%	-0.391%	-0.250%	0.360%	0.754%
최대	수도권	-0.014%	-0.008%	0.007%	0.011%	-0.610%	-0.365%	0.299%	0.303%
	충청권	-0.018%	-0.011%	0.010%	0.016%	-0.449%	-0.228%	-0.146%	-0.804%
	호남권	0.032%	0.019%	-0.019%	-0.032%	0.444%	0.372%	-1.106%	-2.769%
	경북권	-0.029%	-0.017%	0.017%	0.027%	0.300%	0.254%	-0.825%	-2.287%
	경남권	-0.020%	-0.012%	0.012%	0.021%	-0.169%	-0.094%	-0.023%	-0.335%
	강원 제주권	0.030%	0.018%	-0.018%	-0.031%	0.204%	0.140%	-0.164%	-0.213%

## 제 6 장 결론

### 제 1 절 요약 및 시사점

본 연구는 기후변화 적응 관점에서 변화가 필요한 우리나라의 자연재해 관리 정책의 바람직한 방향을 제시하고자 우리나라 자연재해 피해 규모를 결정하는 요인이 무엇인지 패널모형으로 실증분석하고, 향후 발생 가능한 자연재해의 직접피해액을 추정하였다. 그리고 추정된 직접피해액을 다지역 연산일반균형모형에 적용하여 향후 발생 가능한 자연재해의 경제적 파급효과도 분석하였다.

자연재해 피해의 결정요인을 고찰하고자 227개 시군구 패널데이터를 구축하여 분석하였고, 그 결과를 바탕으로 정책적 시사점을 도출하였다.

첫째, 연 강수량이 자연재해 피해에 유의미한 영향을 미치고 있으며, 가장 큰 영향력을 행사하고 있음을 확인하였다. 사후복구 중심의 자연재해 관리 및 정책을 고수하고 기후변화로 인해 점점 더 예측이 어렵다는 이유로 수수방관하는 태도를 유지한다면, 향후 발생 가능한 자연재해로 상당한 규모의 피해를 겪을 수 있으며 복구하는데 엄청난 비용을 치를 가능성도 있다. 따라서 향후 발생 가능한 자연재해 피해 규모와 파급효과를 예측하는 시도가 필요한 시점이며, 이러한 예측을 통해 자연재해 예방 중심의 자연재해 관리 정책을 유도할 수 있다.

둘째, 개인의 소득수준 향상으로 자연재해 피해 규모가 커질 수 있는 반면, 지방정부의 재정적 상황이 양호하면 자연재해 피해를 감소시킬 수 있음을 확인하였다. 특히, 지방정부의 재정적 능력에 따라 자연재해 피해 규모가 달라질 수 있다는 것은 자연재해 예방 및 복구의 주체인 지방정부가 자연재해 피해 규모를 저감시키는데 중요한 역할을 할 수 있음을 의미한다. 따라서 지방정부는 중앙정부의 지원에만 의존할 것이 아니라 한정된 재정을 효율적으로 사용할 수 있어야 하며, 재정의 운용능력을 향상시키려는 노력이 필요하다. 또한 중앙정부가 자연재해 상황을 통제하고 관리하는 것도 중요하지만, 자연재해 예방과 관리 정책에 지방정부의 역할이 중요함을 인지하고 지방정부와 협력하여 효율적으로 자연재해에 대응할 필요가 있다.

셋째, 불투수면 면적을 증가시키는 토지이용의 변화가 자연재해 피해를 가중시킬 수 있음을 확인하였다. 이는 기후변화 적응 관점에서 자연재해에 대한 대응능력을 향

상시키는데 도시계획 및 관리 정책이 기여할 수 있음을 의미한다. 향후 도시계획은 투수층을 늘리고 불투수면을 줄이는 방향으로 추진되어야 하며, 이를 통해 사전적으로 자연재해 피해를 저감할 수 있을 것으로 기대된다.

넷째, 지방정부의 방재예산 변수가 유의미한 추정계수를 보여주지 못해 자연재해 예방 정책이 자연재해 피해 규모에 미치는 영향에 대해서는 결론을 내릴 수 없었다. 유의미한 계수는 아니었지만, 지방정부 방재예산의 추정계수 부호가 예상과는 반대로 비교적 일관되게 양(+)의 방향을 나타내 자연재해를 오히려 증가시키는 것으로 풀이된다. 이는 방재예산 자료에 세부적인 사업내용이 공개되어 있지 않아 실제로는 복구 활동에 예산이 투입되어 나타난 결과일 가능성도 다소 있으며, 향후 연구에서 보다 적절한 변수를 검토하고 선정할 필요가 있다.

한편, 227개 시군구 패널데이터는 통폐합되거나 승격된 기초단체를 제외시킨 관계로 총 자연재해 피해액과는 일치하지 않는 문제가 있다. 이에 동일한 변수로 구성된 16개 시도 단위의 패널데이터를 구축하고, 기후변화 특성을 반영한 강수 예측자료를 적용하여 향후 발생 가능한 자연재해 피해액의 최소값, 평균값, 최대값을 추정하였다. 추정한 결과, 서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산 등 대도시의 자연재해 피해액이 상당히 낮고, 전라남도, 전라북도, 강원도와 같은 대도시가 아닌 지역에서 향후 자연재해 피해액의 증가율이 큰 것으로 나타났다. 이는 본 연구에서 구축한 패널회귀모형 내의 불투수면 면적, 재정자립도, 연 강수량의 영향에서 비롯된 것으로 판단된다. 즉 지방의 도시들보다 불투수면 면적 비율은 높지만 면적 규모는 작고, 재정자립도는 훨씬 높으며, 연강수량은 상대적으로 낮은 대도시 지역은 자연재해 피해액의 규모가 크게 증가하지 않는 것으로 추정되었다. 반면, 불투수면 면적 비율은 낮지만 규모가 크고, 재정자립도는 훨씬 낮으며, 연 강수량이 많은 강원도, 전라북도, 전라남도는 피해액이 크게 증가하였다.

추정된 자연재해 피해액을 2015년 시점의 현재가치로 환산하여 살펴보면, 최대 자연재해 시나리오에서 전라남도의 자연재해 피해액이 3조 6,570억 원에 이르는 것으로 예측되었다. 그 뒤로 경기도, 강원도, 전라북도의 자연재해 피해액이 최대 자연재해 시나리오에서 2조원 이상의 피해액을 기록할 가능성이 있는 것으로 추정되었다. 2013년부터 2060년까지 발생 가능한 연간 자연재해 피해액은 최소 3조 880억 원에서 최대 12조 200억 원의 범위를 갖는 것으로 나타났다.

앞서 추정된 직접피해액의 최소값, 평균값, 최대값으로 자연재해 시나리오를 구성

하고 이를 다지역 연산일반균형모형에 적용하여 향후 발생 가능한 자연재해의 경제적 파급효과를 분석하였다. 그리고 자연재해가 경제에 미치는 부정적 영향이 불투수면 면적을 저감시키는 정책시나리오 통해 감소할 수 있는 규모가 어느 정도인지 비교하고 분석하였다.

분석결과, 향후 발생 가능한 자연재해로 인해 국내총생산은 최소 0.54%에서 최대 2.06%까지 감소할 수 있으며, 이는 최소 4조 6,000억 원에서 최대 17조 5,500억 원에 해당하는 규모이다. 그리고 이 금액은 2014년 국내총생산 1,342조 원(2005년 불변가격) 대비 0.34% ~ 1.31%에 달하며, 사후복구 중심의 자연재해 관리 정책을 유지한다면, 최악의 경우 국내총생산의 1.31%에 달하는 피해를 고스란히 겪어야 하며, 그 피해를 복구하기 위해 필요한 예산과 자원의 규모는 훨씬 더 커질 수밖에 없다. 따라서 앞으로 예상되는 자연재해 피해 규모를 인지하고, 자연재해 피해 규모를 근본적으로 저감시킬 수 있는 예방 중심의 정책 전환과 투자가 필요함을 시사한다.

지역내총생산의 변화를 살펴보면, 호남권이 최대 6% 이상 하락하였고, 이는 6조 840억 원에 달하는 규모이다. 반면, 수도권은 1.49%의 지역내총생산이 감소하는 것으로 예측되고 이를 금액규모로 살펴보면 6조 1,354억 원에 달해 절대적인 규모 측면에서는 가장 간접적인 피해가 큰 지역이었다. 수도권은 국가 경제에서 차지하는 비중이 높은 만큼 앞으로 예상되는 자연재해 피해를 줄이려는 노력이 필요하다. 이와 더불어 중앙정부는 지역경제 규모 대비 피해가 클 것으로 예상되는 호남권의 지방정부에 별도의 지원을 마련해야하며, 호남권 지방 정부도 자체적으로 불투수면 관리를 포함하여 자연재해에 강한 도시로 만들기 위한 도시계획도 모색할 필요가 있다.

각 지역의 산업에 미치는 간접적인 영향을 살펴보면, 주로 농림수산업, 건설업, 제조업의 생산이 둔화되는 것으로 나타났다. 특히, 농림수산업은 산업의 특성 상, 자연재해로 생산지가 파괴되면 다시 회복하는데 장시간이 소요된다. 따라서 중앙정부는 물론 국내 농수산 제품의 주요공급지인 호남권의 지방정부는 농림수산업의 자연재해에 대한 회복탄력성을 높일 수 있도록 정책을 마련해야 할 것이다.

불투수면 면적 저감에 따라 자연재해의 직접피해액이 6.37% ~ 7.03% 감소하였고, 이는 최소 1,900억 원에서 최대 8,280억 원에 달하는 금액이다. 지역별로는 호남권의 직접피해액 저감 규모가 5.98% ~ 6.01%로 가장 낮았다. 결국, 향후 자연재해 피해액이 크게 증가할 것으로 예측되는 호남권이 정책적으로 자연재해 피해를 저감시킬 수 있는 규모도 다른 지역에 비해 작은 것으로 판단된다.

한편, 정책시나리오 적용 결과, 국내총생산이 자연재해 시나리오 대비 최대 0.18% 증가하며 1조 5,181억 원에 달하는 간접적 편익이 발생한다. 다만, 정책시나리오에 따른 국내총생산이 증가하였지만, 기본모형의 국내총생산 수준까지 회복하지는 못했다. 지역내총생산도 최대 0.84% 증가하였지만, 기본모형의 지역내총생산 수준까지 회복하지는 못했다. 호남권의 지역내총생산은 최대 0.56% 증가하지만, 기본모형과 비교했을 때 회복수준이 93.58%로 가장 낮았다. 결국, 호남권은 불투수면 면적 저감에 따른 직접피해액 감소 규모도 가장 작고, 지역내총생산의 회복수준도 가장 낮아, 호남권이 향후 자연재해로 인해 큰 고통을 겪을 가능성이 있는 것으로 풀이된다. 따라서 호남권 지방정부는 불투수면 면적 저감과 같은 도시계획을 통한 근본적인 자연재해 예방과 더불어, 제방건설, 홍수예경보시스템 등 구조적, 비구조적 수단들도 적극적으로 검토할 필요가 있다.

지금까지의 논의를 종합해보면, 사후복구 중심의 자연재해 정책을 유지한다면, 최악의 경우 12조 원의 직접피해액과 17조 원의 간접피해액을 합산하여 총 29조 원의 피해가 예상되며, 피해 복구에 드는 비용은 훨씬 더 클 것으로 예상된다. 따라서 향후 발생 가능한 자연재해 피해 규모를 고려하여 자연재해 예방 중심의 정책 전환과 투자가 필요하다. 이와 더불어 향후 자연재해 피해가 클 것으로 예상되는 호남권과 강원 제주권에 대해서는 중앙정부가 사전적으로 재해피해 규모를 줄이는 정책으로 이끌고, 동시에 재정적인 지원도 고려해야 한다. 특히, 호남권은 불투수면 면적 저감과 같은 정책적 노력에 따른 피해액 감소 효과도 가장 작고, 지역내총생산의 회복수준도 가장 낮아 앞으로 점점 더 어려운 상황에 놓일 것으로 예상된다. 따라서 호남권 지방정부는 한정된 예산과 자원 내에서 효율적으로 자연재해 피해를 저감시킬 수 있는 수단들을 적극 검토하고 실행해야한다.

이와 같이 자연재해 피해의 결정요인을 고찰하고 향후 발생 가능한 자연재해의 직접피해액과 경제적 파급효과를 분석한 본 연구는 다음과 같은 의의를 가진다. 본 연구는 자연재해 피해의 결정요인을 고찰하여 기후 요인이 자연재해 피해액의 규모를 결정하는데 가장 크게 영향을 미치는 것을 확인하였다. 이는 기후변화로 인해 불확실성이 증가하는 상황이지만, 기후요인이 자연재해 피해 규모에 큰 영향을 미치는 만큼 자연재해 피해액 추정 또는 파급효과 분석, 관련 정책의 수립 시 강수특성의 변화 등 기후특성을 반드시 고려해야 함을 시사한다. 이에 본 연구는 강수의 통계적 특성 변화를 반영하여 예측한 강수량 자료를 적용하여 자연재해의 직접피해액을 추정하고,

이를 다지역 연산일반균형모형에 적용하여 자연재해의 경제적 파급효과를 분석하였다. 이러한 시도는 그 동안 기후변동 내지 기후변화에 따른 영향을 반영하지 않고 과거 강수량 관측치의 분포특성 등에 근거하여 자연재해 피해액을 추정한 국내 선행연구와 차별된다. 그리고 과거 자연재해 피해액을 활용하여 단일지역 다부문 연산일반모형에 적용하고 그 파급효과를 분석한 국내 선행연구와 달리, 본 연구는 기후변화의 영향이 반영된 직접피해액을 다지역 다부문 연산일반균형모형에 적용한 국내 최초의 연구이다. 이와 같은 차별성을 가진 본 연구는 특히, 기후변화 적응차원에서 자연재해 예방 중심의 자연재해 관리 정책이 중요함을 시사하며, 중앙정부는 물론 지방정부의 자연재해 관리 정책에 간접적으로 시사점을 제공한 점에서 의의가 있다.

## 제 2 절 연구의 한계 및 향후 연구 방향

본 연구는 다음과 같은 측면에서 개선이 필요하다.

첫째, 패널모형의 변수설정에 대한 한계로서 자연재해에 보다 결정적으로 영향을 미칠 가능성 있는 지형특성을 직접적으로 모형에 반영하지 못한 점이다. 우리나라 자연재해의 대부분이 홍수라는 점에서 지역의 경사도, 토양의 형질 등에 따라 자연재해 피해 규모가 달라질 가능성이 충분하기 때문에 지형 특성을 고려한 분석이 이루어진다면 보다 적합성 있는 결과를 보여줄 수 있을 것으로 기대한다. 또한 본 연구의 패널모형 추정결과, 지방정부 방재예산 변수가 정부의 자연재해 예방 노력을 보여주는 데 다소 적합하지 않았으며, 향후 연구에서는 중앙정부 및 지방정부의 자연재해 예방을 위한 노력을 반영할 수 있는 대리변수의 검토가 필요하다.

둘째, 자연재해의 경제적 파급효과를 분석하는데 일반적인 형태의 다지역 연산일반균형모형을 적용하였다는 점이다. 연산일반균형모형을 이용한 선행연구들을 살펴보면, 분석의 대상이 되는 부문을 보다 구체화시켜 현상을 보다 정밀하게 설명하고자 다양한 시도가 이루어지고 있다. 그러나 본 연구는 자연재해로 인한 경제의 변화를 정밀하게 설명할 수 있도록 연산일반균형모형의 세부 부문을 구체화시키는 시도가 다소 부족하다. 또한 홍수로 대표되는 자연재해가 자본스톡의 감소를 유발한다는 가정도 다소 부자연스러운 부분이 있으며, 자본스톡이 감소한다는 가정보다는 자연재해로 인해 도로, 상수도, 전력시설 등의 기능 상실 등을 적용하는 것이 자연재해의 경제적



파급효과를 정밀하게 분석하는데 더 적합할 수 있다. 그리고 2015년 6월 현재 확보 가능한 지역산업연관표가 2005년이라는 한계 때문에, 미래 시점의 자연재해 피해액을 적용하는 것과 시간적 격차가 다소 크다. 그럼에도 불구하고, 자연재해 관리 정책이 지역단위로 이루어지는 현실을 고려할 때, 지역별 자연재해 피해액과 파급효과를 분석한 것은 의미 있는 시도였다고 판단된다.

향후 연구에서는 위와 같은 연구의 한계들을 극복하는 방향으로 이루어질 필요가 있으며, 정책적인 활용도를 높이기 위해서는 다양한 시도가 필요하다. 자연재해 피해액을 추정하는 모형에 자연재해 예방 및 피해를 저감할 목적을 가진 제방, 저류지와 같은 구조적 수단 또는 홍수예경보시스템과 같은 비구조적 수단에 대한 변수도 고려한다면, 그러한 기술에 따른 자연재해 피해액 저감 규모를 추정할 수 있고 기술의 경제적 가치를 추정하는 목적으로도 활용될 수 있을 것이다. 또한 자연재해의 직접적인 피해발생이 경제에 미치는 파급효과는 지속되는 기간에 따라 다를 수 있다는 점과 재해 발생 후 복구활동에 따른 경제의 변화 등을 고려한다면 보다 현실에 맞는 정책적 시사점을 제공할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

### 국내문헌

- 강범서 (2013). '손실분포법을 이용한 국내기상재해의 최대피해가능 금액 추정연구 : 공공시설 피해를 중심으로', 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
- 강상인, 김재준 (2007). *축차 동태형 환경경제 통합모형 연구*. 서울: 한국환경정책평가연구원.
- 국립방재연구소 (1998). *재해피해 산정의 합리화 방안*.
- 국립환경과학원 (2010). *친환경적 유역관리를 위한 저영향개발(LID) 기법*.
- 국토연구원 (2005). *홍수피해특성 분석 및 홍수피해지표 개발에 관한 연구*.
- 국토연구원 (2007). *대형 공공건설계획에 따른 지역별 건설중간재의 과부족 진단*.
- 국회예산정책처 (2005). *재난관리재정분석*.
- 기상청 (2009). *한반도 기후변화추세분석*.
- 김영덕, 조경엽 (2006). '수도권 공공기관 지방이전의 경제적 효과', *경제학연구*, vol. 54(2), pp. 143-184.
- 김의준 (2008). 'CGE (Computable General Equilibrium) 모형: 경제적 합리성이 있는 국토정책 수단을 찾아보자', *국토*, pp. 96-103.
- 김의준, 김홍석, 박추환, 신동진 (2006). '논문: 도로 및 철도사업의 중장기 권역별 지역경제 파급효과 분석', *지역연구*, vol. 22(3), pp. 3-28.
- 김창완 (2002). '자연재해 특성 및 방재시스템 현황', 재난관리정책의 효율성 평가 심포지엄, 한국프레스센터(2002년 10월 10일).
- 김홍배 (2009). *도시 및 지역경제 분석론*, 서울: 기문당.
- 류문현, 조승국, 김정인 (2012). 'CGE모형을 이용한 자연재해의 경제적 파급효과 분석', *환경정책*, vol. 20(1), pp. 1-21.
- 민인식, 최필선 (2009). *STATA 패널데이터 분석*, 서울: 한국 STATA 학회.
- 박완규 (2010). '지방자치단체의 경제력 격차에 대한 분석: GRDP 대리변수를 이용하여', *지역연구*, vol. 26(4), pp. 75-101.
- 박준호, 유용규, 박영곤, 윤희택, 김종건, 박윤식, 전지홍, 임경재 (2008). 'SWMM 을 이용한 춘천 거두 1 지구의 LID 개념 적용으로 인한 유출 감소 특성 분석', *Journal of Korean Society on Water Quality*, vol. 24(6), pp. 805-815.
- 산업연구원 (2006). *우리나라 전력산업의 특징과 구조개편의 효율성 분석*.
- \_\_\_\_\_ (2012). *산업구조에 따른 노동시장의 특징분석: 제조업을 중심으로*.

- 성장현, 강현석, 박수희, 조천호, 배덕효, 김영오. (2012). 대표농도경로 (RCP) 에 따른 21 세기 말 우리나라 극한강수 전망. *대기*, 22(2), 221-231.
- 소방방재청 (2011). *2010년 재해연보*.
- 엄원근, 홍성길, 오상근 (1996). '기상재해가 국민경제에 미치는 영향', *한국기상학회 학술대회 논문집*, pp. 94-95.
- 유순영 (2011). '국내 재난 손실 평가 모델 개발을 위한 HAZUS-MH4 분석', *한국방재학회 논문집*, vol. 11(2), pp. 83-89.
- 이충성, 최승안, 심명필, 김형수 (2006). 'GIS기반의 분포형 홍수피해산정 기법', *토목연구*, vol. 26(3), pp. 301-310.
- 임정순 (2005). '우리나라 방재정책의 현황과 문제점', *국토*, pp. 6-17.
- 장옥재, 김영오 (2009). '지역회귀분석을 이용한 홍수피해위험도 산정', *한국방재학회 논문집*, vol. 9(4), pp. 71-80.
- 전북발전연구원 (2010). *중앙정부정책이 전라북도에 미치는 경제적 파급효과 분석 모형 개발*.
- 전지홍, 김정진, 최동혁, 한재웅, 김태동 (2009). 'LID-IMPs 선정 가이드라인 제시와 아파트단지에서의 LID 설계', *Journal of Korean Society on Water Quality*, vol. 25(6), pp. 886-895.
- 정근채 (2008). '자연재해에 따른 경제적 손실 평가를 위한 한국형 모형 개발 -홍수재해를 중심으로', *건설기술논문집*, vol. 27(1), pp. 11-26.
- 정재호, 성명재, 이명헌 (2003). *관세율 체계 개선을 위한 연구: 국제비교 및 일반균형모형의 응용*, 한국조세연구원.
- 정준호, 허인혜 (2014). '자연재해 직접 피해액의 추세 및 그 결정요인에 대한 분석', *사회과학연구*, vol. 53(1), pp. 77-99.
- 정태성 (2013). 복원력 있는 국토개발을 위한 피해예측시스템(HAZUS-MH) 활용. 2013.03.26.발표자료.
- 주봉규, 박정근 (2001). *현대농업경제학개론*, 서울대학교 출판부.
- 지해명 (2003). '조세경쟁이 지역경제의 성장과 분배에 미치는 효과분석', *산학경영연구*, vol. 16(단일호), pp. 77-97.
- 최충익 (2004). '패널모형에 의한 도시지역 수해결정요인 분석', *국토계획*, vol. 39(7), pp. 49-67.
- 최현상, 구지희, 이준우 (2005). 'Web-GIS기반의 다차원 홍수피해산정 시스템 개발 연구', *2005년 대한토목학회 학술대회 발표자료집*, pp. 2641-2647
- 통계청 (2006). *2005년 농어업총조사*.

- 한국은행 (2011). *2009년 산업연관표*.
- 한국은행, 통계청 (2014). *국민대차대조표*.
- 홍종호, 김용건, 이미연 (2014). '자연재해의 경제적 파급효과 분석-축차동태 글로벌 연산가능일반균형모형의 활용', *한국위기관리논집*, vol. 10(11), pp. 119-141.
- 환경부 (2009). *우리나라 기후변화의 경제학적 분석*.

## 국외문헌

- Albala-Bertrand, J. M. (1993). *Political economy of large natural disasters*, Oxford, United Kingdom, Clarendon Press.
- Ashenfelter, O. C., D. Zimmerman and P. Levine (2002). *Statistics and Econometrics from A to Z*.
- Baltagi, B. H., S. H. Song and W. Koh (2003). 'Testing panel data regression models with spatial error correlation', *Journal of econometrics*, vol. 117(1), pp. 123-150.
- Boisvert, R. (1992). 'Direct and indirect economic losses from lifeline damage', *Indirect Economics Consequences of a Catastrophic Earthquake*.
- Bosello, F., R. Roson and R. S. Tol (2007). 'Economy-wide estimates of the implications of climate change: Sea level rise', *Environmental and Resource Economics*, vol. 37(3), pp. 549-571.
- Carlson, B. (2014). *Fat tails and hyperinflationary fears*.
- Caselli, F. and P. Malhorta (2004). *Natural Disasters and Growth: from Thought Experiment to Natural Experiment*, Washington DC, IMF.
- Cavallo, E., I. Noy and J. Pantano (2010). *Catastrophic Natural Disasters and Economic Growth*, Washington, D.C, Inter-American Development Bank.
- Cavallo, E., A. Powell and O. Becerra (2010). 'Estimating the Direct Economic Damages of the Earthquake in Haiti', *The Economic Journal*, vol. 120(546), pp. F298-F312.
- Chang, S. (1983). 'Disasters and Fiscal Policy Hurricane Impact on Municipal Revenue', *Urban Affairs Review*, vol. 18(4), pp. 511-523.
- Changnon, S. A. (1980). 'Removing the confusion over droughts and floods:

- The interface between scientists and policy makers', *Water International*, vol. 5(2), pp. 10-18.
- \_\_\_\_\_ (1996). *The Great Flood of 1993: Causes, Impacts, and Responses*. Westview Press.
- \_\_\_\_\_ (2003). Characteristics of Ice Storms in the United States. *Journal of Applied Meteorology*, vol. 42, pp. 630-9.
- Charvériat, C. (2000). *Inter-American Development Bank*, Inter-American Development Bank.
- Comerio, M. C. (1998). *Disaster Hits Home*, London: University of California Press in Berkeley and Los Angeles & University of California Press
- Crowards, T. (1999). *An economic vulnerability index, with special reference to the Caribbean: Alternative methodologies and provisional results*, Caribbean Development Bank.
- Dorland, C., R. S. J. Tol and J. P. Palutikof (1999). 'Vulnerability of the Netherlands and Northwest Europe to Storm Damage under Climate Change', *Climatic Change*, vol. 43(3), pp. 513-535.
- Ferreira, S. (2010). 'An analysis of the determinants of flood damages', Southern Agricultural Economics Association.
- Friesema, H. P. (1979). *Aftermath: Communities after natural disaster*. SAGE Publications, Incorporated.
- Giesecke, J. A., Burns, W. J., Barrett, A., Bayrak, E., Rose, A., Slovic, P. and Suher, M. (2012). 'Assessment of the Regional Economic Impacts of Catastrophic Events: CGE Analysis of Resource Loss and Behavioral Effects of an RDD Attack Scenario', *Risk Analysis*, vol. 32, pp. 583-600.
- Godschalk, D. R. (2003). 'Urban hazard mitigation: creating resilient cities', *Natural hazards review*, vol. 4(3), pp. 136-143.
- Gujarati, D. N. (1995). *Basic Econometrics*, McGraw-Hill international editions.
- Guimaraes P, Hefner F. L., and Woodward D. P. (1993). 'Wealth and income effects of natural disasters: An econometric analysis of Hurricane Hugo'. *The Review of Regional Studies*, vol. 23(2), pp. 97-114.
- Haimes, Y. Y., B. M. Horowitz, J. H. Lambert, J. R. Santos, C. Lian and K.

- G. Crowther (2005). 'Inoperability input-output model for interdependent infrastructure sectors. I: Theory and methodology', *Journal of Infrastructure Systems*, vol. 11(2), pp. 67-79.
- Hallegatte S. (2008). 'An Adaptive Regional Input-Output Model and its Application to the Assessment of the Economic Cost of Katrina', *Risk Analysis*, vol. 28(3), pp. 779-799.
- Hill, R. C. (2011). Econometrics. 계량경제학, 이병락 역.
- Hsiang, S. M. and Jina, A. S. (2012). *Development after Disaster. Background Paper prepared for the 2013 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction*. Geneva, Switzerland
- Hochrainer, S. (2009). *Assessing the Macroeconomic Impacts of Natural Disasters: Are there any?*
- Hsiao, C. (1985). 'Benefits and limitations of panel data', *Econometric Reviews*, vol. 4(1), pp. 121-174.
- IPCC (1996). *Climate Change 1995: The Science of Climate Change: Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_ (2007). *Climate Change Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_ (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_ (2012). *Summary for Policymakers. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Cambridge University Press.
- Johnston, J. and J. DiNardo (1997). *Econometric methods*: Cambridge Univ Press.
- Karl, T. R. and R. W. Knight (1998). 'Secular trends of precipitation amount, frequency, and intensity in the United States', *Bulletin of the American Meteorological society*, vol. 79(2), pp. 231-241.
- Kellenberg, D. K. and A. M. Mobarak (2008). 'Does rising income increase

- or decrease damage risk from natural disasters?', *Journal of Urban Economics*, vol. 63(3), pp. 788-802.
- Kim, J.-W., K.-Y. Kim, M.-K. Kim, C.-H. Cho, Y. Lee and J. Lee (2013). 'Statistical multisite simulations of summertime precipitation over South Korea and its future change based on observational data', *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, vol. 49(5), pp. 687-702.
- Kunkel, K. E., K. Andsager and D. R. Easterling (1999). 'Long-term trends in extreme precipitation events over the conterminous United States and Canada', *Journal of Climate*, vol. 12(8), pp. 2515-2527.
- Labaton, S. (1994). "U.S. is considering a "revolution" in flood control." New York Times, 27 August.
- Levin, A., C.-F. Lin and C.-S. J. Chu (2002). 'Unit root tests in panel data: asymptotic and finite-sample properties', *Journal of econometrics*, vol. 108(1), pp. 1-24.
- Liu, Jing (2012). 'Weather or Wealth: An Analysis of Property Loss Caused by Flooding in the U.S.', *2012 AAEE Annual Meetings*, Seattle, Washington, Aug. 12-14, 2012.
- Lundgren, L. (1999). *Environmental Geology*: Prentice Hall.
- Mendelsohn, R. and G. Saher (2011). *The Global Impact of Climate Change on Extreme Events*, World Bank.
- Miller, R. E. and Blair, P. D. (2009). Input-output analysis: foundations and extensions. Cambridge University Press.
- MunichRe (1993). *Winter Storms in Europe: Analysis of 1990 Losses and Future Loss Potentials*.
- Murnane, R. and J. Elsner (2012). 'Maximum wind speeds and US hurricane losses', *Geophysical Research Letters*, vol. 39(16).
- Nirupama, N. and S. P. Simonovic (2007). 'Increase of flood risk due to urbanisation: A canadian example', *Natural Hazards*, vol. 40(1), pp. 25-41.
- Nordhaus, W. D. (2011). 'The economics of tail events with an application to climate change', *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 5(2), pp. 240-257.
- Nordhaus, W. D. (2011). 'The economics of tail events with an application

- to climate change', *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 5(2), pp. 240-257.
- Noy, I. (2009). 'The Macroeconomic Consequences of Disasters', *Journal of Development Economics*, vol. 88(2), pp. 221-231.
- OECD (2012). *Looking to 2060: Long-term global growth prospects*.
- Okuyama, Y. (2004). 'Modeling spatial economic impacts of an earthquake: Input-output approaches', *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, vol. 13(4), pp. 297-306.
- \_\_\_\_\_ (2008). 'Critical review of Methodologies on disaster impacts estimation', *Background paper for EDRR report*.
- \_\_\_\_\_ (2014). 'Disaster and economic structural change: case study on the 1995 Kobe earthquake', *Economic Systems Research*, vol. 26(1), pp. 98-117.
- Pielke, R. A. and M. W. Downton (2000). 'Precipitation and Damaging Floods: Trends in the United States, 1932-97', *Journal of Climate*, vol. 13(20), pp. 3625-3637.
- Rasmussen, T. N. (2004). *Macroeconomic implications of natural disasters in the Caribbean*.
- Rose, A. (2004). 'Defining and measuring economic resilience to disasters', *Disaster Prevention and Management*, vol. 13(4), pp. 307-314.
- Rose, A., J. Benavides, S. E. Chang, P. Szczesniak and D. Lim (1997). 'The Regional Economic Impact of an Earthquake: Direct and Indirect Effects of Electricity Lifeline Disruptions', *Journal of Regional Science*, vol. 37(3), pp. 437-458.
- Rose, A. and G.-S. Guha (2004). 'Computable general equilibrium modeling of electric utility lifeline losses from earthquakes', *Modeling spatial and economic impacts of disasters*, pp. 119-141: Springer.
- Rose, A. and S. Y. Liao (2005). 'Modeling regional economic resilience to disasters: A computable general equilibrium analysis of water service disruptions\*', *Journal of Regional Science*, vol. 45(1), pp. 75-112.
- Rose, A. Z. and Blomberg, S. B. (2010). 'Total economic consequences of terrorist attacks: Insights from 9/11', *Peace Economics, Peace Science and Public Policy*, vol. 16(1).



- Shibusawa, H. and Y. Miyata (2011). 'Evaluating The Dynamic And Spatial Economic Impacts Of An Earthquake: A CGE Application To Japan', *Regional Science Inquiry*, vol. 3(2), pp. 13-25.
- Simola, A., A. Perrels and H. Juha (2011). 'Extreme weather events in Finland - a dynamic CGE-analysis of economic effects'.
- Skidmore, M. and H. Toya (2002). 'Do Natural Disasters Promote Long-Run Growth? ', *Economic Inquiry*, vol. 40(4), pp. 664-687.
- Stern, N. H. (2006). *Stern Review: The economics of climate change*: HM treasury London.
- Strobl, E. (2010). 'The Economic Growth Impact of Hurricanes: Evidence from U.S. Coastal Counties', *Review of Economics and Statistics*, vol. 93(2), pp. 575-589.
- Teng, W.-H., Hsu, M.-H., Wu, C.-H. and Chen, A. (2006). Impact of Flood Disasters on Taiwan in the Last Quarter Century. *Natural Hazards*, vol. 37, pp. 191-207.
- Toya, H. and M. Skidmore (2007). 'Economic development and the impacts of natural disasters', *Economics Letters*, vol. 94(1), pp. 20-25.
- Weitzman, M. L. (2011). 'Fat-tailed uncertainty in the economics of catastrophic climate change', *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 5(2), pp. 275-292.
- Wing, I. S., Rose, A. Z. and Wein, A. M. (2013). *Economic Impacts of the Arkstorm Scenario*.
- White, G. F. (1958). *Changes in Urban Occupance of Flood Plains in the United States*: University of Chicago.
- WMO and GWP (2008). *Associate Program on Flood Management: Urban Flood Risk Management - A 5 tool for Integrated Flood Management*.

## 부록 - 다지역 사회계정행렬(단위: 조 원)

		Labor(L)	Capital(K)	R1								
				S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S7	S9
R E C E I P T S	Labor(L)	0.00	0.00	0.35	40.05	1.14	19.37	23.18	9.27	5.90	13.42	87.22
	Capital(K)	0.00	0.00	2.42	20.13	1.32	5.62	21.13	5.43	4.13	19.21	45.95
	R1	0.00	0.00	0.35	3.09	0.00	0.15	0.28	0.00	0.00	0.00	0.51
	S1	0.00	0.00	1.24	63.83	0.11	16.30	4.97	1.07	0.86	0.47	14.23
	S2	0.00	0.00	0.03	1.78	2.53	0.09	0.93	0.13	0.20	0.15	2.11
	S3	0.00	0.00	0.01	0.15	0.05	0.02	0.16	0.02	0.11	0.03	4.30
	S4	0.00	0.00	0.18	11.63	0.06	2.00	2.49	0.38	1.49	0.12	12.63
	S5	0.00	0.00	0.08	4.57	0.03	0.47	4.20	1.52	0.28	0.60	2.12
	S6	0.00	0.00	0.03	0.97	0.01	0.19	3.35	0.28	4.14	1.04	5.91
	S7	0.00	0.00	0.10	3.36	0.10	1.13	2.17	1.13	0.57	10.04	11.11
	S8	0.00	0.00	0.23	17.21	0.21	4.86	11.84	2.88	5.41	4.95	35.97
	S9	0.00	0.00	0.02	0.75	0.00	0.08	0.30	0.00	0.00	0.00	0.05
	R2	0.00	0.00	0.15	13.00	0.06	3.37	2.56	1.63	0.22	0.07	4.12
	S1	0.00	0.00	0.02	0.56	0.06	0.03	0.34	0.06	0.11	0.06	0.67
	S2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
	S3	0.00	0.00	0.01	0.55	0.00	0.10	0.18	0.03	0.08	0.01	0.61
	S4	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.03	0.16	0.07	0.01	0.02	0.08
	S5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01
	S6	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.08	0.12
	S7	0.00	0.00	0.00	0.27	0.00	0.15	0.12	0.02	0.07	0.03	0.35
	S8	0.00	0.00	0.02	0.60	0.00	0.03	0.49	0.00	0.00	0.00	0.03
	S9	0.00	0.00	0.14	11.21	0.08	1.37	1.86	1.95	0.07	0.06	1.88
	R3	0.00	0.00	0.01	0.43	0.04	0.03	0.25	0.05	0.09	0.04	0.52
	S1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
	S2	0.00	0.00	0.01	0.33	0.00	0.06	0.11	0.01	0.05	0.00	0.42
	S3	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	0.02	0.13	0.08	0.00	0.01	0.06
	S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01
	S5	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.07	0.10
	S6	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.05	0.02	0.00	0.01	0.01	0.09
	S7	0.00	0.00	0.01	0.29	0.00	0.01	0.12	0.00	0.00	0.00	0.03
	S8	0.00	0.00	0.05	9.40	0.11	1.80	0.43	0.26	0.32	0.04	2.08
	S9	0.00	0.00	0.02	0.61	0.05	0.04	0.34	0.07	0.12	0.06	0.72
	R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
	S1	0.00	0.00	0.01	0.35	0.00	0.06	0.11	0.02	0.04	0.00	0.33
	S2	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.02	0.13	0.03	0.00	0.01	0.06
	S3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01
	S4	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.05	0.07
	S5	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.05	0.04	0.00	0.01	0.01	0.07
	S6	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
	S7	0.00	0.00	0.15	14.82	0.15	2.84	1.63	3.20	0.14	0.10	2.38
	S8	0.00	0.00	0.00	0.06	0.03	0.00	0.04	0.01	0.01	0.01	0.08
	S9	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.15
	R5	0.00	0.00	0.01	0.64	0.00	0.11	0.20	0.02	0.07	0.01	0.68
	S1	0.00	0.00	0.00	0.61	0.01	0.05	0.31	0.18	0.01	0.02	0.14
	S2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01
	S3	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.01	0.02	0.04	0.01	0.10	0.14
	S4	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.08	0.03	0.01	0.01	0.01	0.09
	S5	0.00	0.00	0.03	0.51	0.00	0.06	0.31	0.00	0.00	0.00	0.04
	S6	0.00	0.00	0.01	1.06	0.00	0.28	0.94	0.05	0.01	0.00	0.24
	S7	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03
	S8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
	S9	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.03	0.08	0.01	0.03	0.00	0.46
	R6	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.01	0.08	0.03	0.00	0.01	0.04
	S1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01
	S2	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.04	0.06
	S3	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.04	0.02	0.00	0.01	0.01	0.11
	S4	199.90	125.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S5	41.07	24.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S6	36.30	27.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S7	38.67	28.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S8	66.74	37.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S9	14.44	8.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	GOV. CAP.	0.00	0.00	0.13	8.78	0.52	5.43	3.11	0.00	1.22	2.04	13.29
	GOV. Consumption	0.00	0.00	0.34	14.34	1.79	1.53	3.08	3.34	4.32	1.79	20.94
	Private fixed capital	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Gov. fixed capital	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Inventory	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ROW	0.00	0.00	0.14	56.54	8.14	2.36	3.81	10.45	1.87	1.16	7.63
	TOTAL	397.12	252.48	6.30	304.10	16.56	70.34	96.41	43.82	32.02	55.99	281.24

주: 지역은 R1: 수도권, R2: 충청권, R3: 호남권, R4: 경북권, R5: 경남권, R6: 강원제주권으로 구분되며, 산업은 S1: 농림수산물, S2: 제조업, S3: 전력, 가스 및 수도, S4: 건설, S5: 도소매 및 숙박, S6: 운수 및 보관, S7: 통신 및 방송, S8: 금융 및 보험, S9: 서비스로 분류되었음.

## 표 계속

			S1	S2	S3	S4	R2 S5	S6	S7	S7	S9
R E C E I P T S	Labor(L)		0.48	12.78	0.58	5.00	2.68	1.30	0.55	1.41	16.30
	Capital(K)		4.22	6.88	0.70	1.51	2.84	0.73	0.38	1.77	5.72
	R1	S1	0.02	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
		S2	0.74	11.47	0.07	1.95	0.42	0.11	0.07	0.04	1.43
		S3	0.00	0.18	1.27	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.14
		S4	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13
		S5	0.09	1.48	0.02	0.20	0.17	0.03	0.08	0.00	0.63
		S6	0.03	0.80	0.01	0.07	0.12	0.08	0.02	0.02	0.10
		S7	0.01	0.10	0.00	0.01	0.08	0.01	0.10	0.04	0.17
		S8	0.01	0.35	0.00	0.04	0.07	0.05	0.02	0.10	0.39
		S9	0.03	2.70	0.07	0.40	0.32	0.05	0.25	0.30	0.86
	R2	S1	0.39	3.91	0.00	0.05	0.13	0.00	0.00	0.00	0.16
		S2	0.81	19.37	0.10	2.85	1.00	0.39	0.03	0.02	1.99
		S3	0.05	1.20	0.12	0.02	0.16	0.01	0.03	0.03	0.49
		S4	0.00	0.03	0.04	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.37
		S5	0.05	0.56	0.01	0.08	0.10	0.02	0.03	0.00	1.14
		S6	0.08	1.47	0.01	0.10	0.18	0.06	0.01	0.03	0.19
		S7	0.02	0.30	0.02	0.04	0.33	0.02	0.41	0.07	0.42
		S8	0.11	0.74	0.03	0.15	0.13	0.05	0.02	1.10	0.61
		S9	0.24	3.90	0.15	0.99	1.10	0.28	0.29	0.29	3.82
	R3	S1	0.04	0.54	0.00	0.02	0.08	0.00	0.00	0.00	0.01
		S2	0.20	4.62	0.05	0.48	0.26	0.25	0.01	0.01	0.31
		S3	0.01	0.23	0.01	0.01	0.04	0.00	0.01	0.01	0.11
		S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
		S5	0.01	0.18	0.00	0.02	0.03	0.00	0.01	0.00	0.13
		S6	0.00	0.08	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
		S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S8	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S9	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02
	R4	S1	0.01	0.11	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
		S2	0.10	4.60	0.01	0.70	0.06	0.03	0.03	0.00	0.17
		S3	0.02	0.28	0.01	0.01	0.05	0.00	0.01	0.01	0.14
		S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S5	0.01	0.16	0.00	0.02	0.03	0.00	0.01	0.00	0.08
		S6	0.00	0.10	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
		S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S8	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S9	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
	R5	S1	0.00	0.07	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
		S2	0.20	6.33	0.09	0.99	0.22	0.40	0.01	0.01	0.63
		S3	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
		S5	0.02	0.33	0.00	0.04	0.06	0.01	0.02	0.00	0.11
		S6	0.00	0.13	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
		S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S8	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
		S9	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
	R6	S1	0.02	0.18	0.01	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
		S2	0.02	0.39	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.03
		S3	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S5	0.00	0.06	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.10
		S6	0.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
		S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S9	0.00	0.02	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02
	Households	R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R5		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R6		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	GOV.		0.11	6.76	0.16	1.27	0.51	0.00	0.14	0.23	1.55
	CAP.		0.43	6.99	0.98	0.35	0.37	0.30	0.49	0.18	4.29
	GOV. Consumption	R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Private fixed capital	R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Gov. fixed capital	R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Inventory		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ROW		0.15	27.04	1.71	0.65	0.39	0.32	0.12	0.11	1.57
	TOTAL		8.74	127.69	6.29	18.20	12.19	4.60	3.15	5.81	44.46

주: 지역은 R1: 수도권, R2: 충청권, R3: 호남권, R4: 경북권, R5: 경남권, R6: 강원제주권으로 구분되며, 산업은 S1: 농림수산물, S2: 제조업, S3: 전력, 가스 및 수도, S4: 건설, S5: 도소매 및 숙박, S6: 운수 및 보관, S7: 통신 및 방송, S8: 금융 및 보험, S9: 서비스로 분류되었음.

# 표 계속

			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S7	S9	
R E C E I P T S	Labor(L)		0.72	9.55	0.64	4.62	2.70	1.55	0.54	1.50	14.48	
	Capital(K)		5.70	7.63	0.98	1.52	2.84	0.93	0.40	1.81	5.32	
	R1	S1	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
		S2	0.50	4.71	0.11	1.22	0.27	0.12	0.06	0.04	0.04	1.15
		S3	0.00	0.13	0.10	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08
		S4	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.10
		S5	0.12	1.56	0.02	0.25	0.18	0.04	0.13	0.01	0.01	0.68
		S6	0.03	0.51	0.01	0.05	0.11	0.12	0.01	0.02	0.00	0.09
		S7	0.01	0.08	0.01	0.01	0.06	0.02	0.06	0.08	0.00	0.14
		S8	0.00	0.18	0.00	0.06	0.09	0.12	0.00	0.13	0.00	0.42
		S9	0.03	1.49	0.27	0.33	0.29	0.07	0.25	0.26	0.00	0.68
	R2	S1	0.03	0.37	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
		S2	0.45	3.72	0.16	0.73	0.25	0.24	0.02	0.01	0.00	0.49
		S3	0.02	0.26	0.02	0.01	0.04	0.00	0.01	0.01	0.00	0.11
		S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S5	0.02	0.18	0.00	0.03	0.03	0.01	0.02	0.00	0.00	0.13
		S6	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01
		S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S8	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
		S9	0.00	0.14	0.01	0.03	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.05
	R3	S1	0.54	4.82	0.00	0.05	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14
		S2	1.08	32.52	0.68	2.52	0.92	0.58	0.02	0.02	0.00	1.48
		S3	0.06	1.86	0.19	0.02	0.16	0.01	0.03	0.03	0.00	0.43
		S4	0.01	0.04	0.14	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.56
		S5	0.10	0.85	0.01	0.15	0.18	0.03	0.09	0.00	0.00	1.15
		S6	0.07	1.61	0.01	0.11	0.21	0.08	0.01	0.04	0.00	0.16
		S7	0.03	0.25	0.01	0.05	0.38	0.02	0.49	0.08	0.00	0.44
		S8	0.17	0.80	0.07	0.16	0.12	0.06	0.04	1.20	0.00	0.56
		S9	0.30	2.50	0.21	0.84	1.17	0.33	0.23	0.35	0.00	3.31
	R4	S1	0.02	0.07	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
		S2	0.17	2.19	0.04	0.47	0.06	0.04	0.03	0.01	0.00	0.17
		S3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S5	0.01	0.16	0.00	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.06
		S6	0.00	0.08	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01
		S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S8	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
		S9	0.00	0.10	0.00	0.02	0.01	0.00	0.04	0.00	0.00	0.01
	R5	S1	0.02	0.07	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S2	0.39	5.08	0.17	1.25	0.28	0.63	0.02	0.02	0.00	0.41
		S3	0.02	0.30	0.06	0.01	0.05	0.00	0.01	0.01	0.00	0.13
		S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
		S5	0.02	0.32	0.00	0.05	0.05	0.01	0.02	0.00	0.00	0.17
		S6	0.01	0.12	0.00	0.01	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00	0.02
		S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S8	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
		S9	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
	R6	S1	0.02	0.32	0.00	0.01	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
		S2	0.02	0.17	0.00	0.06	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
		S3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S4		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
S5		0.01	0.07	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.13	
S6		0.00	0.12	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	
S7		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	
S8		0.01	0.04	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.05	0.00	0.03	
S9		0.00	0.05	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0.08	
Households		R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GOV. CAP.		0.11	8.10	0.13	1.17	0.47	0.00	0.14	0.26	0.00	1.23	
GOV. Consumption		R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Private fixed capital		R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gov. fixed capital		R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Inventory		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
ROW		0.27	33.56	0.34	0.54	0.37	1.65	0.11	0.13	0.00	0.82	
TOTAL		11.67	131.95	5.77	16.76	12.24	7.14	3.34	6.28	0.00	39.62	

주: 지역은 R1: 수도권, R2: 충청권, R3: 호남권, R4: 경북권, R5: 경남권, R6: 강원제주권으로 구분되며, 산업은 S1: 농림수산물, S2: 제조업, S3: 전력, 가스 및 수도, S4: 건설, S5: 도소매 및 숙박, S6: 운수 및 보관, S7: 통신 및 방송, S8: 금융 및 보험, S9: 서비스로 분류되었음.

# 표 계속

			S1	S2	S3	S4	R4		S6	S7	S7	S9
R E C E I P T S	Labor(L)		0.40	13.09	0.68	3.90	S5	2.96	1.62	0.53	1.75	13.74
	Capital(K)		3.18	10.89	1.37	1.26		2.94	0.63	0.46	1.63	6.04
	R1	S1	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
		S2	0.23	6.99	0.12	0.81	0.32	0.09	0.06	0.04	1.09	
		S3	0.00	0.20	0.07	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07
		S4	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12
		S5	0.07	1.47	0.02	0.15	0.16	0.02	0.07	0.00	0.00	0.46
		S6	0.01	0.45	0.00	0.02	0.11	0.09	0.02	0.02	0.07	
		S7	0.01	0.08	0.00	0.01	0.07	0.01	0.08	0.06	0.17	
		S8	0.00	0.22	0.00	0.04	0.05	0.02	0.01	0.04	0.52	
		S9	0.02	4.31	0.35	0.39	0.30	0.07	0.26	0.31	0.65	
	R2	S1	0.01	0.18	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S2	0.18	3.90	0.19	0.36	0.24	0.19	0.02	0.01	0.49	
		S3	0.00	0.13	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.04	
		S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		S5	0.01	0.17	0.00	0.02	0.03	0.00	0.01	0.00	0.10	
		S6	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	
		S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		S8	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		S9	0.00	0.11	0.01	0.03	0.02	0.00	0.01	0.01	0.07	
	R3	S1	0.01	0.09	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
		S2	0.12	4.39	0.09	0.23	0.24	0.30	0.01	0.01	0.24	
		S3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S5	0.01	0.20	0.00	0.02	0.04	0.00	0.01	0.00	0.09	
		S6	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
		S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S8	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S9	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
	R4	S1	0.30	2.38	0.00	0.03	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13
		S2	0.55	30.06	0.41	2.51	0.68	0.11	0.04	0.04	1.48	
		S3	0.02	1.43	0.17	0.01	0.11	0.01	0.02	0.02	0.31	
		S4	0.00	0.04	0.14	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.53	
		S5	0.04	0.88	0.01	0.09	0.14	0.02	0.04	0.00	1.16	
		S6	0.06	1.71	0.01	0.08	0.20	0.08	0.01	0.05	0.17	
		S7	0.02	0.28	0.02	0.04	0.37	0.02	0.48	0.10	0.38	
		S8	0.11	1.01	0.09	0.15	0.20	0.12	0.04	1.48	0.69	
		S9	0.18	3.36	0.26	0.62	1.21	0.31	0.29	0.50	3.26	
	R5	S1	0.01	0.15	0.00	0.01	0.08	0.00	0.00	0.00	0.03	
		S2	0.42	9.63	0.19	1.44	0.45	0.79	0.02	0.03	0.68	
		S3	0.03	0.98	0.10	0.02	0.13	0.01	0.03	0.02	0.31	
		S4	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	
		S5	0.03	0.61	0.01	0.07	0.10	0.01	0.03	0.00	0.22	
		S6	0.01	0.39	0.00	0.02	0.04	0.04	0.00	0.01	0.03	
		S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		S8	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.03	0.01	
		S9	0.00	0.09	0.02	0.02	0.04	0.01	0.00	0.01	0.09	
	R6	S1	0.00	0.21	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	
		S2	0.01	0.18	0.00	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00	0.02	
		S3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		S5	0.00	0.05	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.07	
		S6	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	
		S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		S8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		S9	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	
	Households	R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R5		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R6		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	GOV. CAP.		0.07	2.56	0.17	0.94	0.52	0.00	0.16	0.33	1.50	
			0.30	5.92	1.46	0.27	0.40	0.33	0.55	0.22	3.92	
	GOV. Consumption	R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Private fixed capital	R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Gov. fixed capital	R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Inventory		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ROW		0.13	28.79	0.24	0.47	0.40	0.65	0.13	0.15	1.01	
	TOTAL		6.59	137.85	6.26	14.14	12.91	5.63	3.41	6.90	40.10	

주: 지역은 R1: 수도권, R2: 충청권, R3: 호남권, R4: 경북권, R5: 경남권, R6: 강원제주권으로 구분되며, 산업은 S1: 농림수산물, S2: 제조업, S3: 전력, 가스 및 수도, S4: 건설, S5: 도소매 및 숙박, S6: 운수 및 보관, S7: 통신 및 방송, S8: 금융 및 보험, S9: 서비스로 분류되었음.

# 표 계속

			S1	S2	S3	S4	R5 S5	S6	S7	S7	S9
R E C E I P T S	Labor(L)		0.81	25.98	0.99	6.48	5.50	3.61	0.84	2.73	19.80
	Capital(K)		2.70	11.97	1.50	2.00	5.40	2.08	0.68	2.60	8.90
	R1	S1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S2	0.19	11.69	0.09	1.10	0.45	0.16	0.07	0.06	1.87
		S3	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S4	0.00	0.02	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.27
		S5	0.08	2.39	0.03	0.22	0.27	0.06	0.12	0.01	0.78
		S6	0.02	0.56	0.01	0.03	0.18	0.21	0.02	0.03	0.15
		S7	0.01	0.16	0.01	0.02	0.14	0.03	0.14	0.10	0.27
		S8	0.00	0.34	0.00	0.07	0.18	0.14	0.01	0.46	0.51
		S9	0.04	3.30	0.24	0.56	0.49	0.18	0.38	0.45	1.15
	R2	S1	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
		S2	0.21	7.46	0.09	0.59	0.34	0.35	0.03	0.01	0.73
		S3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S5	0.01	0.29	0.00	0.03	0.05	0.01	0.02	0.00	0.10
		S6	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
		S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S8	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
		S9	0.00	0.07	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04
	R3	S1	0.03	0.21	0.00	0.01	0.08	0.00	0.00	0.00	0.03
		S2	0.24	8.30	0.09	0.45	0.44	0.50	0.01	0.01	0.38
		S3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
		S5	0.02	0.40	0.00	0.04	0.07	0.01	0.02	0.00	0.21
		S6	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.01
		S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S8	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S9	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02
	R4	S1	0.03	0.37	0.00	0.01	0.11	0.00	0.00	0.00	0.05
		S2	0.22	17.21	0.05	1.35	0.40	0.22	0.06	0.02	0.57
		S3	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02
		S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
		S5	0.02	0.73	0.01	0.07	0.12	0.02	0.04	0.00	0.35
		S6	0.00	0.10	0.00	0.01	0.02	0.05	0.00	0.00	0.02
		S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S8	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
		S9	0.00	0.17	0.00	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.07
	R5	S1	0.24	2.96	0.17	0.08	0.19	0.00	0.00	0.00	0.21
		S2	0.90	53.28	0.31	5.31	1.51	1.88	0.06	0.07	3.09
		S3	0.05	3.08	1.08	0.06	0.48	0.08	0.08	0.08	1.16
		S4	0.00	0.06	0.09	0.00	0.03	0.01	0.01	0.00	0.90
		S5	0.07	2.26	0.02	0.22	0.38	0.06	0.10	0.01	2.46
		S6	0.14	3.47	0.03	0.19	0.53	0.33	0.02	0.09	0.42
		S7	0.02	0.39	0.02	0.05	0.67	0.05	0.76	0.15	0.65
		S8	0.12	1.58	0.07	0.21	0.22	0.19	0.07	1.90	1.28
		S9	0.31	5.63	0.22	1.15	2.33	0.79	0.48	0.79	5.49
	R6	S1	0.01	0.10	0.05	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01
		S2	0.01	0.40	0.00	0.04	0.05	0.03	0.00	0.00	0.10
		S3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S5	0.00	0.10	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.09
		S6	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01
		S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S9	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
	Households	R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R5		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R6		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	GOV.		0.08	13.41	0.26	1.65	0.91	0.00	0.23	0.51	2.60
	CAP.		0.39	8.59	1.87	0.45	0.74	1.04	0.85	0.34	5.81
	GOV. Consumption	R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Private fixed capital	R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Gov. fixed capital	R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Inventory		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ROW		0.26	58.48	3.54	0.89	0.76	2.80	0.19	0.22	1.46
	TOTAL		7.28	245.78	10.91	23.41	23.23	15.00	5.31	10.71	62.15

주: 지역은 R1: 수도권, R2: 충청권, R3: 호남권, R4: 경북권, R5: 경남권, R6: 강원제주권으로 구분되며, 산업은 S1: 농림수산물, S2: 제조업, S3: 전력, 가스 및 수도, S4: 건설, S5: 도소매 및 숙박, S6: 운수 및 보관, S7: 통신 및 방송, S8: 금융 및 보험, S9: 서비스로 분류되었음.

## 표 계속

			S1	S2	S3	S4	R6 S5	S6	S7	S7	S9
R E C E I P T S	Labor(L)		0.67	1.10	0.09	2.11	1.30	0.72	0.32	0.60	7.52
	Capital(K)		2.36	0.67	0.09	0.66	1.57	0.34	0.22	0.60	2.49
	R1	S1	0.01	0.07	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
		S2	0.42	0.96	0.01	0.94	0.20	0.07	0.04	0.02	0.74
		S3	0.00	0.02	0.04	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.05
		S4	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.10
		S5	0.05	0.15	0.00	0.11	0.06	0.01	0.03	0.00	0.31
		S6	0.06	0.13	0.00	0.03	0.07	0.06	0.01	0.01	0.06
		S7	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.03	0.03	0.06
		S8	0.00	0.03	0.00	0.04	0.01	0.03	0.00	0.08	0.17
		S9	0.03	0.19	0.01	0.13	0.13	0.04	0.16	0.15	0.33
	R2	S1	0.01	0.07	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S2	0.17	0.30	0.01	0.30	0.14	0.11	0.01	0.00	0.26
		S3	0.02	0.05	0.01	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.06
		S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S5	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.06
		S6	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01
		S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S9	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04
	R3	S1	0.02	0.11	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
		S2	0.22	0.27	0.01	0.24	0.16	0.16	0.01	0.00	0.22
		S3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
		S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
		S5	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05
		S6	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
		S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01
		S9	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02
	R4	S1	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S2	0.07	0.20	0.00	0.22	0.03	0.01	0.01	0.00	0.15
		S3	0.02	0.10	0.01	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.09
		S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S5	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03
		S6	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
		S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
	R5	S1	0.01	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
		S2	0.22	0.43	0.02	0.47	0.11	0.26	0.01	0.01	0.53
		S3	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02
		S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
		S5	0.01	0.03	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.05
		S6	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
		S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		S9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
	R6	S1	0.22	1.13	0.00	0.02	0.08	0.00	0.00	0.00	0.08
		S2	0.11	0.48	0.00	0.71	0.23	0.05	0.00	0.00	0.34
		S3	0.03	0.06	0.02	0.01	0.06	0.00	0.01	0.01	0.15
		S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.32
		S5	0.04	0.12	0.00	0.07	0.07	0.01	0.02	0.00	0.57
		S6	0.09	0.45	0.00	0.06	0.10	0.04	0.00	0.01	0.08
		S7	0.02	0.03	0.00	0.02	0.16	0.01	0.29	0.04	0.27
		S8	0.09	0.08	0.00	0.06	0.08	0.03	0.02	0.50	0.26
		S9	0.20	0.26	0.01	0.38	0.51	0.15	0.15	0.11	1.66
	Households	R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R5		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R6		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	GOV. CAP.		0.00	1.39	0.02	0.61	0.30	0.00	0.08	0.10	0.70
			0.24	0.39	0.14	0.13	0.21	0.16	0.28	0.07	2.76
	GOV. Consumption	R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Private fixed capital	R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Gov. fixed capital	R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Inventory		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ROW		0.13	1.08	0.07	0.24	0.17	0.21	0.07	0.06	0.50
	TOTAL		5.60	10.57	0.61	7.72	6.01	2.56	1.84	2.47	21.21

주: 지역은 R1: 수도권, R2: 충청권, R3: 호남권, R4: 경북권, R5: 경남권, R6: 강원제주권으로 구분되며, 산업은 S1: 농림수산물, S2: 제조업, S3: 전력, 가스 및 수도, S4: 건설, S5: 도소매 및 숙박, S6: 운수 및 보관, S7: 통신 및 방송, S8: 금융 및 보험, S9: 서비스로 분류되었음.

## 표 계속

		Households						GOV.	CAP.
		R1	R2	R3	R4	R5	R6		
RECEIPTS	Labor(L)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Capital(K)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S1	1.26	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00
	S2	20.68	2.75	2.64	2.86	4.04	1.26	0.00	0.00
	S3	5.31	0.32	0.18	0.17	0.00	0.08	0.00	0.00
	S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S5	32.14	1.99	1.92	1.61	2.30	0.73	0.00	0.00
	S6	7.52	0.19	0.21	0.14	0.33	0.08	0.00	0.00
	S7	10.59	0.45	0.37	0.48	0.79	0.16	0.00	0.00
	S8	18.40	0.14	0.13	0.14	0.18	0.10	0.00	0.00
	S9	85.48	1.95	1.63	1.83	2.27	0.86	0.00	0.00
	S1	1.11	0.53	0.05	0.05	0.04	0.03	0.00	0.00
	S2	7.39	3.06	1.39	1.39	2.04	0.56	0.00	0.00
	S3	0.71	0.45	0.11	0.05	0.00	0.05	0.00	0.00
	S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S5	1.80	2.87	0.42	0.39	0.39	0.15	0.00	0.00
	S6	0.30	0.80	0.06	0.03	0.04	0.03	0.00	0.00
	S7	0.03	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S8	0.06	2.32	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
	S9	1.80	11.79	0.15	0.17	0.10	0.10	0.00	0.00
	S1	1.43	0.26	0.87	0.17	0.26	0.05	0.00	0.00
	S2	5.01	1.08	3.17	1.09	1.65	0.57	0.00	0.00
	S3	0.48	0.09	0.50	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
	S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S5	1.17	0.40	3.21	0.36	0.67	0.15	0.00	0.00
	S6	0.22	0.04	0.90	0.02	0.08	0.02	0.00	0.00
	S7	0.03	0.00	1.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S8	0.05	0.01	2.55	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
	S9	0.84	0.22	13.49	0.05	0.13	0.14	0.00	0.00
	S1	0.61	0.09	0.05	0.71	0.51	0.03	0.00	0.00
	S2	3.95	0.83	0.85	2.63	1.95	0.32	0.00	0.00
	S3	0.66	0.10	0.00	0.36	0.01	0.08	0.00	0.00
	S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S5	1.00	0.27	0.22	3.47	1.11	0.08	0.00	0.00
	S6	0.18	0.04	0.02	0.97	0.10	0.02	0.00	0.00
	S7	0.02	0.00	0.00	1.60	0.01	0.00	0.00	0.00
	S8	0.02	0.00	0.01	2.59	0.00	0.00	0.00	0.00
	S9	0.63	0.13	0.06	14.13	0.44	0.05	0.00	0.00
	S1	0.54	0.10	0.05	0.29	1.07	0.02	0.00	0.00
	S2	7.18	1.50	1.73	2.55	5.55	0.62	0.00	0.00
	S3	0.17	0.01	0.17	0.42	1.42	0.02	0.00	0.00
	S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S5	1.99	0.47	0.53	0.87	6.44	0.14	0.00	0.00
	S6	0.35	0.03	0.08	0.18	2.09	0.02	0.00	0.00
	S7	0.03	0.00	0.00	0.00	2.39	0.00	0.00	0.00
	S8	0.03	0.01	0.01	0.02	4.18	0.01	0.00	0.00
	S9	0.46	0.10	0.07	0.33	20.88	0.03	0.00	0.00
	S1	1.02	0.10	0.25	0.06	0.09	0.31	0.00	0.00
	S2	1.65	0.18	0.18	0.18	0.21	0.53	0.00	0.00
	S3	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00
	S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S5	0.96	0.22	0.29	0.19	0.22	1.23	0.00	0.00
	S6	0.22	0.03	0.05	0.03	0.03	0.28	0.00	0.00
	S7	0.03	0.00	0.02	0.00	0.00	0.83	0.00	0.00
	S8	0.04	0.00	0.07	0.00	0.00	0.91	0.00	0.00
	S9	1.01	0.18	0.50	0.07	0.09	4.93	0.00	0.00
	Households	R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.64	0.00
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.25	0.00
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.81	0.00
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.17	0.00
		R5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.91	0.00
		R6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.31	0.00
	GOV.	45.88	11.52	14.20	10.58	17.69	6.40	0.00	0.00
	CAP.	70.39	20.03	12.37	16.97	28.70	2.55	37.12	0.00
	GOV. Consumption	R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	49.23	0.00
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.64	0.00
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.83	0.00
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.05	0.00
		R5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.50	0.00
		R6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.75	0.00
	Private fixed capital	R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	87.87
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.91
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.35
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.50
		R5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.15
		R6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.27
	Gov. fixed capital	R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.68
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.24
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.83
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.58
		R5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.66
		R6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.49
	Inventory	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.75
	ROW	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	78.28
	TOTAL	342.88	69.09	67.23	70.25	110.49	24.75	192.22	304.57

주: 지역은 R1: 수도권, R2: 충청권, R3: 호남권, R4: 경북권, R5: 경남권, R6: 강원제주권으로 구분되며, 산업은 S1: 농림수산물, S2: 제조업, S3: 전력, 가스 및 수도, S4: 건설, S5: 도소매 및 숙박, S6: 운수 및 보관, S7: 통신 및 방송, S8: 금융 및 보험, S9: 서비스로 분류되었음.



## 표 계속

		GOV. consumption						Private fixed capital					
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R1	R2	R3	R4	R5	R6
R E C E I P T S	Labor(L)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Capital(K)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.48	2.79	1.27	2.17	2.03	0.37
	S3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	49.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.71	0.23	0.24	0.18	0.30	0.06
	S6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00
	S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S9	49.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.94	1.38	1.33	1.24	2.34	0.40
	S1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
	S2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.37	1.44	0.30	0.28	0.55	0.08
	S3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.85	0.00	0.00	0.00	0.00
	S5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.09	0.03	0.02	0.04	0.01
	S6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S9	0.00	15.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	1.26	0.00	0.00	0.00	0.00
	S1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00
	S2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.67	0.34	1.07	0.31	1.14	0.18
	S3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.48	0.00	0.00	0.00
	S5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.03	0.15	0.03	0.05	0.01
	S6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
	S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S9	0.00	0.00	13.80	0.00	0.00	0.07	0.05	0.05	0.77	0.01	0.00	0.01
	S1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
	S2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.59	0.62	0.36	1.22	0.54	0.07
	S3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.08	0.00	0.00
	S5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.02	0.02	0.10	0.08	0.00
	S6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
	S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S9	0.00	0.00	12.05	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03	0.00	1.35	0.00	0.00
	S1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
	S2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.86	1.61	1.12	1.35	2.74	0.33
	S3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.94	0.00
	S5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.04	0.04	0.07	0.25	0.01
	S6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00
	S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S9	0.00	0.00	0.00	0.00	19.50	0.00	0.16	0.03	0.01	0.01	2.04	0.00
	S1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
	S2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03
	S3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.17
	S5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04
	S6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	S9	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	9.68	0.02	0.01	0.03	0.00	0.00	0.47
	Households	R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	GOV. CAP.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	GOV. Consumption	R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Private fixed capital	R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Gov. fixed capital	R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		R6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Inventory	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ROW	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	TOTAL	49.23	15.64	13.83	12.05	19.50	9.75	87.87	21.91	16.35	17.50	26.15	6.27

주: 지역은 R1: 수도권, R2: 충청권, R3: 호남권, R4: 경북권, R5: 경남권, R6: 강원제주권으로 구분되며, 산업은 S1: 농림수산물, S2: 제조업, S3: 전력, 가스 및 수도, S4: 건설, S5: 도소매 및 숙박, S6: 운수 및 보관, S7: 통신 및 방송, S8: 금융 및 보험, S9: 서비스로 분류되었음.

# 표 계속

		Gov. fixed capital						Inventory	ROW	TOTAL
		R1	R2	R3	R4	R5	R6			
R E C E I P T S	Labor(L)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	397.12
	Capital(K)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	252.48
	S1	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.07	6.30
	S2	0.43	0.12	0.13	0.07	0.16	0.11	0.68	94.64	304.10
	S3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	16.56
	S4	15.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.13	70.34
	S5	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.11	8.07	96.41
	S6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	16.70	43.82
	S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.72	32.02
	S8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.13	55.99
	S9	0.44	0.03	0.04	0.04	0.05	0.02	0.07	8.85	281.24
	S1	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.06	8.74
	S2	0.09	0.06	0.03	0.02	0.04	0.02	0.33	31.78	127.69
	S3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	6.29
	S4	0.00	5.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	18.20
	S5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.88	12.19
	S6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	4.60
	S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	3.15
	S8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	5.81
	S9	0.01	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	44.46
	S1	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.19	0.08	11.67
	S2	0.07	0.02	0.07	0.03	0.02	0.02	0.20	32.30	131.95
	S3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	5.77
	S4	0.00	0.00	6.37	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	16.76
	S5	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.70	12.24
	S6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.58	7.14
	S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	3.34
	S8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	6.28
	S9	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	39.62
	S1	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.19	0.05	6.59
	S2	0.19	0.03	0.03	0.07	0.06	0.03	0.21	42.32	137.85
	S3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	6.26
	S4	0.00	0.00	0.00	4.17	0.00	0.00	0.04	0.01	14.14
	S5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.10	12.91
	S6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.92	5.63
	S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	3.41
	S8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	6.90
	S9	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.36	40.10
	S1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.10	0.30	7.28
	S2	0.22	0.13	0.08	0.11	0.17	0.07	0.62	87.63	245.78
	S3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	10.91
	S4	0.00	0.00	0.00	0.00	8.02	0.00	0.08	0.01	23.41
	S5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	2.45	23.23
	S6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	4.56	15.00
	S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	5.31
	S8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	10.71
	S9	0.01	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.55	62.15
	S1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.09	0.06	5.60
	S2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	1.06	10.57
	S3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61
	S4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.16	0.02	0.01	7.72
	S5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	6.01
	S6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	2.56
	S7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.84
	S8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	2.47
	S9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.12	21.21
	Households	R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	342.88
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	69.09
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	67.23
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	70.25
		R5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	110.49
		R6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.75
	GOV. CAP.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	192.22
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	304.57
	GOV. Consumption	R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	49.23
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.64
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.83
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.05
		R5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.50
		R6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.75
	Private fixed capital	R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	87.87
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.91
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.35
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.50
		R5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.15
		R6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.27
	Gov. fixed capital	R1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.68
		R2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.24
		R3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.83
		R4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.58
		R5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.66
		R6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.49
	Inventory	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.75
	ROW	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	343.33
	TOTAL	16.68	6.24	6.83	4.58	8.66	3.49	3.75	343.33	

주: 지역은 R1: 수도권, R2: 충청권, R3: 호남권, R4: 경북권, R5: 경남권, R6: 강원제주권으로 구분되며, 산업은 S1: 농림수산물, S2: 제조업, S3: 전력, 가스 및 수도, S4: 건설, S5: 도소매 및 숙박, S6: 운수 및 보관, S7: 통신 및 방송, S8: 금융 및 보험, S9: 서비스로 분류되었음.

## **ABSTRACT**

# **The Determining Factors and the Economic Impact of Natural Disaster Damage**

**Lee, Miyeon**

**Department of Environmental Planning  
Graduate School of Environmental Studies  
Seoul National University**

Natural disasters have become commonplace all over the world. Climate change can be one of the major factors because it accompanies significant changes in precipitation, temperature, and the frequency and intensity of extreme events. In particular, as fat-tail risk increasing probability of a disaster with an extreme magnitude has expanded due to climate change, it has become more difficult to forecast magnitude and frequency of natural disaster in the future. However, as there must be a place for us to control and manage natural disaster despite of high uncertainty from climate change, it is time to respond efficiently to natural disaster by recognizing and enhancing what we can control and manage. Aiming to lead natural disaster management policy of Korea to more efficient way in terms of climate change adaptation, this study identified factors determining natural disaster damage and forecasted direct damage costs in the future by using panel data regression analysis. Also, applying the forecasted direct damage costs to a multi-regional computable general equilibrium model, it analyzed the economic impact of natural disasters.

For identifying the determining factors of natural disaster damage, this study developed panel data of 227 local administrative bodies from 2001 to 2012 and conducted panel regression analysis. Its results and policy implications are as follows. First, annual precipitation is identified as the most powerful factor increasing natural disaster damage. Considering that climate factor is not possible to be controlled and the uncertainty of precipitation trend has increased, it implies that we may face unexpected considerable damage costs if we holds a current natural disaster management policy focusing on ex-post reconstruction. Therefore, it is necessary to forecast natural disaster

damage costs and its impact, and this attempt will contribute to promote a natural disaster management policy focusing on prevention. Second, it turned out that a sound financial state of the local government can reduce damage costs while an improved personal income seems to increase the costs. This result shows indirectly that role of local government is important as a key player for prevention and reconstruction in natural disaster management policy. It is still important for the central government to control natural disaster, however, it is also necessary to respond efficiently to natural disaster by enhancing the role of the local government and cooperating with the central and local governments. Third, it appeared that a change of land use increasing impervious surface area can aggravate natural disaster damage. As urban planning and management policy can play an important role ultimately to improve adaptation capacity to climate change, it is essential to try to reduce natural disaster damage preliminarily by urban planning minimizing impervious surface area.

As the result of analyzing factors determining natural disaster damage, it identified that the impact of climate factor is the largest, and the result implies that changes in precipitation due to climate change should be considered in developing natural disaster management policy. In particular, the changes in precipitation must be reflected for estimating direct damage costs in the future. This study developed balanced panel data set from 2001 to 2012 on 16 metropolitan cities and provinces in Korea and forecasted minimum, average and maximum of natural damage costs in the future by applying a future precipitation data predicted by considering climate change. Calculating the present value (base year = 2015) of the forecasted natural disaster damage costs, Jeollanam-do is expected to have damage costs of 3.6 trillion Won at maximum. The region is followed by Gyeonggi-do, Gangwon-do and Jeollabuk-do, whose damage costs are expected to be more than 2 trillion Won. The annual natural disaster damage costs from 2013 to 2060 was estimated range from 3 to 12 trillion Won.

Along with estimating direct damage costs, it is necessary to analyze indirect damage costs such as the decline of industrial activity. This study created natural disaster scenarios using the estimated minimum, average and maximum damage costs, and applied them to a multi-regional computable general equilibrium model (base year = 2005) for identifying the economic impact of natural disaster. In addition, it compared the natural disaster scenario with a policy scenario reducing impervious surface area, and examined the policy effects.

In the natural disaster scenario, gross domestic production (GDP) declined by 0.54% ~ 2.06% (4.6 ~ 17.5 trillion Won). Also, these costs are equivalent to 0.34% ~ 1.31%

of GDP (1,342 trillion Won) in 2014. As gross regional domestic production (GRDP) of Honam region including Gwangju, Jeollabuk-do and Jeollanam-do dropped by above 6% (6 trillion Won), this region is expected to be the most vulnerable to natural disaster in the future. On the other hand, although GRDP of the national capital region including Seoul, Incheon and Gyeonggi-do declined by only 1.49%, but its economic costs reached 6.1 trillion Won. Therefore, the national capital region may be damaged most seriously in terms of absolute economic costs. For the impact of natural disasters to industrial activity, agriculture & fishery, construction and manufacture sectors were mainly affected. In the meantime, as the result of comparing the natural disaster scenario with the policy scenario converting impervious into pervious surface area, direct damage costs reduced by 6.37% ~ 7.03% (0.2 ~ 0.8 trillion Won). The reduced direct damage costs of Honam region was the lowest of 5.98% ~ 6.01%. For economic impact of the policy scenario, as GDP grew by 0.18% from the GDP in the natural disaster scenario, it indicated that indirect benefits of the policy is 1.5 trillion Won. However, the increase of GDP by the policy scenario was not enough to recover GDP in 2005 (base year for CGE model). Likewise, GRDP could not recover GRDP in 2005 although it increased by 0.84% at maximum. GRDP of Honam region grew by 0.56% at maximum, however, this growth contributed to recover only 93.58% of GDP in 2005 as the lowest record comparing with other regions' recovery of above 95%.

In conclusion, this study identified that climate factor affects natural disaster damage the most and forecasted that total damage costs would reach 29 trillion Won including direct and indirect costs. These results suggest that the impact of climate change should be considered in developing natural disaster management policy and the focus of the management policy should change from ex-post reconstruction to prevention and investment. In addition, as Honam region is expected to be damaged most seriously in the future, the central government needs to lead its local governments to reduce natural disaster damage preliminarily. Also, the local governments in Honam region should actively consider and implement measures reducing natural disaster damage efficiently with limited budgets and resources.

Keywords: determinants of natural disaster damage, panel model, direct damage costs and economic impact of natural disaster, multi-regional CGE model, climate change adaptation

Student number: 2011-30730